



TUGAS AKHIR - SF141501

**PENGARUH PEG DALAM PEMBUATAN PASTA  
 $\text{TiO}_2$  TERHADAP EFISIENSI *DYE SENSITIZED*  
*SOLAR CELL* (DSSC) DENGAN DYE SINTETIS N-  
749 SEBAGAI *DYE SENSITIZER***

**FRISKA AYU FITRIANTI SUGIONO**  
**1111100017**

Dosen Pembimbing :  
Endarko, M.Si, Ph.D.  
19741117 199903.1.001

Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

***”Halaman ini sengaja dikosongkan”***



FINAL PROJECT- SF141501

**THE EFFECT OF THE ADDITION PEG ONTO  $\text{TiO}_2$  PASTE  
TOWARD PERFORMANCE OF *DYE SENSITIZED SOLAR*  
CELL (DSSC) USING N-749 AS DYE SENSITIZER**

**FRISKA AYU FITRIANTI SUGIONO**  
**1111100017**

**Supervisor :**  
**Endarko, M.Si, Ph.D.**  
**19741117 199903.1.001**

**Physics Department**  
**Faculty Of Mathematics And Natural Sciences**  
**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**  
**Surabaya 2015**

***”Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## HALAMAN PENGESAHAN

# **PENGARUH PEG DALAM PEMBUATAN PASTA $\text{TiO}_2$ TERHADAP PERFORMA *DYE SENSITIZED* *SOLAR CELL* (DSSC) DENGAN DYE SINTETIS N-749 SEBAGAI *DYE SENSITIZER***

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada  
Program Studi S-1 Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Friska Ayu Fitrianti Sugiono**  
**NRP 1111 100 017**

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Endarko, M.Si, Ph.D  
19741117 199903.1.001



Surabaya  
Juni, 2015

**PENGARUH PEG DALAM PEMBUATAN PASTA  $\text{TiO}_2$   
TERHADAP PERFORMA DYE SENSITIZED SOLAR  
CELL (DSSC) DENGAN DYE SINTETIS  
N-749 SEBAGAI DYE SENSITIZER**

**Nama Mahasiswa** : Friska Ayu Fitrianti Sugiono  
**NRP** : 1111100017  
**Jurusan** : Fisika FMIPA ITS  
**Dosen Pembimbing** : Endarko, M.Si, Ph.D

***Abstrak***

*Telah dihasilkan prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) berbasis  $\text{TiO}_2$  nanopartikel dengan variasi penggunaan PEG (Polyethylene Glycol) dalam pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  dan dye sintetis N-749 sebagai dye sensitizer.  $\text{TiO}_2$  orde nano berfase anatase dengan besar ukuran kristal 15.1 nm telah berhasil disintesis melalui metode kopresipitasi. Dalam penelitian ini sel difabrikasi menggunakan kaca konduktif ITO (Indium Tin Oxide) dan berhasil dikarakterisasi pengaruh penambahan PEG pada proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ . Karakterisasi DSSC menunjukkan performansi DSSC yang dihasilkan, didapat dengan nilai efisiensi sebesar 0,047% dengan penambahan PEG 4000, 0.012% dengan penambahan PEG 1000, dan 0.006% untuk penggunaan pasta  $\text{TiO}_2$  tanpa PEG. Penambahan PEG pada proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  mampu menghasilkan lapisan tipis  $\text{TiO}_2$  yang terdistribusi secara merata serta memiliki porus yang dapat meningkatkan jumlah dye yang terserap pada DSSC sehingga meningkatkan performa DSSC.*

***Kata Kunci : Dye sintetis N-749, PEG (Polyethylene Glycol),  $\text{TiO}_2$  orde nano.***

*”Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **THE EFFECT OF THE ADDITION PEG ONTO TiO<sub>2</sub> PASTE TOWARD PERFORMANCE OF DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC) USING N-749 DYE AS DYE SENSITIZER**

**Name** : Friska Ayu Fitrianti Sugiono  
**NRP** : 1111100017  
**Department** : Physics Department, Faculty of  
Mathematic and Science  
**Supervisor** : Endarko, M.Si, Ph.D

## **Abstract**

*Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) which used TiO<sub>2</sub> nanoparticles with variation of the addition of PEG (Polyethylene Glycol) onto TiO<sub>2</sub> paste and N-749 dye as dye sensitizer has been succesfully synthesized and characterized. Synthesized TiO<sub>2</sub> in this study was achieved in anatase phase with crystal size of 15.1 nm using coprecipitation method. The working electrode was prepared with three different paste namely pure TiO<sub>2</sub> paste, TiO<sub>2</sub> paste added with PEG 1000 and TiO<sub>2</sub> paste added with PEG 4000 and the working electrodes were then coated onto ITO (Indium Tin Oxide) by a doctor blade. In this study, three working electrodes were used to determine efficiency value of DSSC. The results showed that the addition PEG 4000 onto TiO<sub>2</sub> paste has an efficiency value greater than the addition PEG 1000 onto TiO<sub>2</sub> paste and pure TiO<sub>2</sub> paste, with an efficiency value can be achieved around 0.047%, 0.012% and 0.006%, respectively. The addition PEG onto TiO<sub>2</sub> can be improved the efficiency value due to effective electron transport and enriched adsorption of dye on TiO<sub>2</sub> surface.*

**Keyword** : N-749 dye, nanoparticles TiO<sub>2</sub>, PEG (Polyethylene Glycol).



***”Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah robbil ‘alamin, Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah S.W.T, yang telah melimpahkan rahmat, karunia, petunjuk, pertolongan dan ridho-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul:*

**“PENGARUH PEG DALAM PEMBUATAN PASTA  $\text{TiO}_2$   
TERHADAP EFISIENSI *DYE SENSITIZED SOLAR CELL*  
(DSSC) DENGAN *DYE* SINTETIS N-749 SEBAGAI *DYE*  
*SENSITIZER*”**

Keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan, informasi dan do'a dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Sugiono dan Ibu Agustina Wahyu Rejeki, pasangan yang telah mendidik dengan penuh kasih sayang dan tak henti-hentinya berdo'a dan memberikan dukungan materi dan spiritual hingga akhirnya penulis bias melampaui semua ini. *Makasih Mama, Ayah, juga adik tersayang Ratih Anggraeni Sugiono yang selalu memberikan semangat.*
2. Bapak Endarko, M.Si, Ph.D selaku dosen wali dan dosen pembimbing yang telah bersedia mengarahkan, membimbing, dan memberikan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Gatut Yudhoyono, MT yang telah memberikan dukungan berupa materi serta saran dan bimbingannya bagi penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Gontjang Prajitno, M.Si dan Drs. Bachtera Indarto M.Si selaku dosen penguji yang telah bersedia memberikan ilmunya demi perbaikan pada Tugas Akhir ini.
5. Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng, selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

6. Seluruh dosen dan civitas akademika jurusan Fisika ITS atas ilmu yang diberikan selama ini. Semoga bias menjadi ilmu yang bermanfaat.
7. Putri Ayu Kartika Candra dan Belinda Prissy Farossa yang selalu memberikan semangat dan membantu proses penyelesaian Tugas Akhir penulis.
8. Mas Hadi Santoso dan Fajar Timur selaku tim kerja riset DSSC. Terima kasih atas informasi, saran dan bantuannya dalam selesainya Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Fisika ITS (Emy, Jati, Aris, Santi Pus, Santi cp) dan Laboratorium Optoelektronika Fisika ITS (Mbak Riska, Mas Ifan, Mas Ichan, Pak Ghofar) juga buat Mbak Aini terima kasih atas dukungan dan do'anya.
10. Teman-teman F29, FOTON 2011, terima kasih atas kekeluargaannya selama ini yang selalu terjalin.
11. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu

Penulis berharap laporan penelitian Tugas Akhir ini nantinya akan dapat berguna dan dapat dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang yang berhubungan dengan Fisika.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN JUDUL</b>	iii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	v
<b>ABSTRAK</b>	vii
<b>ABSTRACT</b>	ix
<b>KATA PENGANTAR</b>	xi
<b>DAFTAR ISI</b>	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b>	xxi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xxiii
 <b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
 <b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Sel Surya	7
2.2 Dye Sensitized Solar Cell	9
2.3 Komponen DSSC	11
2.3.1 Substrat	11
2.3.2 Lapisan Semikonduktor	12
2.3.3 Dye	12
2.3.4 Elektrolit	14
2.3.5 Katalis	14
2.4 Titanium Dioksida (TiO <sub>2</sub> )	15
2.5 PEG ( <i>Polyethylene Glycol</i> )	15
2.6 Prinsip Kerja DSSC	17
2.7 Karakteristik Sel Surya	21

### **BAB III. METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Alat dan Bahan	23
3.1.1 Alat	23
3.1.2 Bahan	23
3.2 Prosedur Kerja	23
3.2.1 Persiapan	23
3.2.2 Sintesis Nanopartikel $\text{TiO}_2$	24
3.2.3 Pembuatan pasta $\text{TiO}_2$	26
3.2.4 Pendeposisian pasta $\text{TiO}_2$ pada kaca ITO	27
3.2.5 Analisa morfologi permukaan $\text{TiO}_2$ yang telah terdeposisi pada kaca substrat	28
3.2.6 Pembuatan larutan Dye	29
3.2.7 Karakterisasi absorpsi larutan dye	30
3.2.8 Perendaman elektroda kerja	30
3.2.9 Pembuatan elektrolit	31
3.2.10 Pembuatan elektroda pembanding	31
3.2.11 Pembuatan <i>sandwich</i> DSSC	32
3.2.12 Karakterisasi arus dan tegangan pada DSSC	34
3.3 Diagram alir penelitian	36

### **BAB IV. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Penelitian	37
4.1.1 Hasil XRD Semikonduktor $\text{TiO}_2$	37
4.1.2 Hasil Absorbansi Larutan Dye N-749	38
4.1.3 Hasil Uji SEM Permukaan $\text{TiO}_2$ yang telah dideposisi pada kaca substrat	39
4.1.4 Hasil $V_{oc}$ , $J_{sc}$ , $P_{max}$ , <i>Fill Factor</i> dan efisiensi pada DSSC dengan variasi penggunaan PEG	43
4.2 Pembahasan	44
4.2.1 Analisa Sintesis $\text{TiO}_2$	44
4.2.2 Analisa uji Absorbansi Larutan Dye N-749	46
4.2.3 Analisa hasil uji SEM-EDX permukaan $\text{TiO}_2$ yang telah dideposisi pada kaca substrat	46

4.2.4 Karakterisasi Arus dan Tegangan pada DSSC	51
<b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	55
<b>LAMPIRAN</b>	59
<b>Biodata Penulis</b>	75

***”Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Besarnya nilai $m$ dan berat molekul PEG	16
Tabel 2.2	<i>Melting Point</i> PEG	17
Tabel 4.1	Hasil $V_{oc}$ , $J_{sc}$ , $P_{max}$ , <i>Fill Factor</i> dan efisiensi pada DSSC dengan variasi penggunaan PEG	43



*”Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Level energi <i>p-n junction</i> pada sel surya	8
Gambar 2.2	Susunan Dye Sensitized Solar Cell	10
Gambar 2.3	Efek luas permukaan $\text{TiO}_2$ terhadap zat pewarna yang terserap	11
Gambar 2.4	Struktur molekul dye yang berkaitan dengan $\text{TiO}_2$	13
Gambar 2.5	Struktur Kimia Dye N-749	13
Gambar 2.6	Struktur PEG	17
Gambar 2.7	Tahap 1 prinsip kerja DSSC	18
Gambar 2.8	Tahap 2 prinsip kerja DSSC	19
Gambar 2.9	Tahap 3 prinsip kerja DSSC	19
Gambar 2.10	Tahap 4 prinsip kerja DSSC	20
Gambar 2.11	Prinsip kerja DSSC	21
Gambar 2.12	Kurva arus dan tegangan pada sel surya	22
Gambar 3.1	(a) Proses pembersihan kaca substrat dengan <i>ultrasonic cleaner</i>	24
	(b) Penyimpanan kaca substrat dengan aluminium foil	24
Gambar 3.2	Proses pengadukan bahan dengan menggunakan <i>magnetic stirrer</i>	24
Gambar 3.3	(a) Proses penambahan $\text{NH}_4\text{OH}$ dan pengontrolan pH pada pembuatan $\text{TiO}_2$ Mulai berubah menjadi lebih terang	25
	(b) Terbentuk larutan berwarna putih setelah distirer selama $\pm 1$ jam dari penambahan larutan $\text{NH}_4\text{OH}$	25
Gambar 3.4	(a) Terbentuk endapan yang memisah dari cairan bening di atasnya	26
	(b) Serbuk $\text{TiO}_2$ setelah proses kalsinasi	26
Gambar 3.5	Proses pembuatan pasta $\text{TiO}_2$ dengan mencampur bahan menggunakan mortar	26
Gambar 3.6	Teknik pendeposisian pada $\text{TiO}_2$	27
Gambar 3.7	Proses pemanasan elektroda kerja	27

	(a) Terjadi perubahan warna menjadi kecoklatan	27
	(b) Mulai berubah menjadi lebih terang	27
	(c) Elektroda kerja menjadi putih kembali	27
Gambar 3.8	(a) Proses <i>coating</i> sampel sebelum SEM-EDX	28
	(b) Proses analisa morfologi permukaan $\text{TiO}_2$ yang telah terdeposisi pada kaca substrat	28
Gambar 3.9	Proses pembuatan larutan Dye dengan <i>magnetic stirrer</i>	28
Gambar 3.10	(a) Spektrophotometer UV-Vis merk Genesys 10S	30
	(b) Proses peletakan sampel untuk diuji absorbansi	30
Gambar 3.11	Perendaman elektroda kerja	30
Gambar 3.12	Proses pembuatan larutan elektrolit gel dengan <i>magnetic stirrer</i>	31
Gambar 3.13	(a) Serbuk grafit dari pensil 8B	32
	(b) Proses pembuatan larutan elektroda karbon dengan <i>magnetic stirrer</i>	32
Gambar 3.14	(a) Deposisi larutan elektroda karbon ke kaca substrat	32
	(b) Proses pemanasan elektroda karbon untuk menghilangkan ethanol	32
Gambar 3.15	(a) Pembatas yang digunakan untuk menyusun DSSC	33
	(b) Elektroda karbon yang telah diberi pembatas	33
Gambar 3.16	Proses pengisian elektrolit	33
Gambar 3.17	<i>Packaging</i> DSSC	34
Gambar 3.18	Proses pengukuran arus dan tegangan pada DSSC	34
Gambar 3.19	Diagram alir penelitian	36
Gambar 4.1	Puncak-puncak Kristal yang menunjukkan $\text{TiO}_2$ fase anatase dengan <i>software</i> Match!	37
Gambar 4.2	Kecocokan pola terukur pada hasil pengujian	

	XRD dengan pola terhitung sampel $\text{TiO}_2$	38
Gambar 4.3	Grafik absorbansi dye yang diukur dengan spectrometer UV-Vis	39
Gambar 4.4	(a) PEG 1000	39
	(b) PEG 4000	39
Gambar 4.5	Morfologi permukaan pasta $\text{TiO}_2$ tanpa PEG terdeposisi pada kaca substrat	40
Gambar 4.6	Morfologi permukaan pasta $\text{TiO}_2$ dengan PEG 1000 terdeposisi pada kaca substrat	40
Gambar 4.7	Morfologi permukaan pasta $\text{TiO}_2$ dengan PEG 4000 terdeposisi pada kaca substrat	41
Gambar 4.8	Distribusi pasta $\text{TiO}_2$ tanpa PEG terdeposisi pada kaca substrat	41
Gambar 4.9	Distribusi pasta $\text{TiO}_2$ dengan PEG 1000 terdeposisi pada kaca substrat	42
Gambar 4.10	Distribusi pasta $\text{TiO}_2$ dengan PEG 4000 terdeposisi pada kaca substrat	42
Gambar 4.11	Hasil perendaman dye pada pasta $\text{TiO}_2$ (a) Tanpa PEG (b) Dengan PEG 1000 (b) Dengan PEG 4000	43
Gambar 4.12	Karakterisasi Arus dan Tegangan pada DSSC dengan variasi tanpa PEG, PEG 1000, dan PEG 4000	44

***”Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1	Hasil Uji Difraksi Sinar X TiO <sub>2</sub> Nano	59
Lampiran 2	Hasil Uji SEM-EDX	61
Lampiran 3	Hasil Uji I-V Kithley	63
Lampiran 4	Hasil plot data Arus (A) dan Tegangan (V) dari hasil Uji Keithley I-V meter	72

***”Halaman ini sengaja dikosongkan”***

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semakin sedikit persediaan cadangan bahan bakar fosil dalam beberapa tahun terakhir serta efek rumah kaca dan pemanasan global yang ditimbulkan, maka pencarian sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*) dan ramah lingkungan menjadi tuntutan yang tidak dapat ditunda lagi. Salah satu energi alternatif yang berpotensi besar namun belum dimanfaatkan secara maksimal adalah energi matahari. Indonesia sangat berpotensi untuk memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi masa depan, mengingat posisi Indonesia pada garis khatulistiwa yang memungkinkan sinar matahari dapat optimal diterima di hampir seluruh Indonesia sepanjang tahun (Brian, 2006).

*Solar cell* atau sel surya merupakan teknologi yang memanfaatkan cahaya matahari untuk dikonversikan ke energi listrik. Solar sel berbahan semikonduktor silikon telah banyak difabrikasi dengan efisiensi yang terus meningkat tetapi harga yang ditawarkan masih tinggi. Perkembangan menarik dari teknologi sel surya saat ini salah satunya adalah sel surya yang dikembangkan oleh Michael Gratzel dan Brian O'Regan pada tahun 1991 (C. Suryanarayana, 1998). Sel yang juga disebut sel Gratzel atau *dye sensitized solar cells* (DSSC) ini terdiri dari sebuah lapisan partikel nano (biasanya  $\text{TiO}_2$ ) yang direndam dalam dye (fotosensitizer). Dye merupakan zat pewarna yang peka terhadap cahaya. Ada dua jenis dye yaitu dye alami dan dye sintetis. Namun sejauh ini dilaporkan nilai efisiensi tertinggi yang telah didapatkan dari penggunaan dye alami pada DSSC adalah 1%. Penggunaan dye sintetis sebagai bahan *dye sensitizer* mampu memberikan efisiensi yang lebih baik dibandingkan *dye sensitizer* dari bahan alami. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Seo Ye Bang (2012) dengan menggunakan dye sintetis N-749 mampu memperoleh efisiensi sebesar 9.1%.



Tingginya efisiensi konversi energi surya menjadi listrik memang menjadi salah satu daya tarik berkembangnya riset mengenai DSSC di beberapa negara akhir-akhir ini. Salah satunya dilakukan dengan memberikan perlakuan pada  $\text{TiO}_2$  sebagai material semikonduktor yang salah satunya berperan sebagai tempat melekatnya dye (*sensitizer*). Beberapa penelitian dilakukan dengan pengontrolan porositas seperti yang dilakukan oleh Eun Hee Jo (2014) yang menemukan sebuah metode pengontrolan porositas  $\text{TiO}_2$  dengan menggunakan PEG (*Polyethylene Glycol*), dimana pengontrolan ini dilakukan dengan metode *aerosol templating*. Sementara pada penelitian Bingbing Hu (2014) luas area permukaan  $\text{TiO}_2$  dikontrol dengan menggunakan bahan polymer sebagai sarana pembentuk porus pada  $\text{TiO}_2$  yang dideposisi dengan metode *gel-hydrothermal*. Namun, metode tersebut membutuhkan keahlian sintesis dan waktu fabrikasi yang lama serta biaya tinggi. Sehingga perlu dikembangkan metode lain yang lebih mudah seperti *doctor blade*. Metode ini menjadi salah satu metode yang banyak digunakan terutama karena mudah dalam pengaplikasiannya. Penelitian Bingbing Hu (2014) juga menjelaskan adanya distribusi porus yang lebih merata pada pasta  $\text{TiO}_2$  terdepositasi ketika dibuat dengan menambahkan material polymer yang pada penelitian ini digunakan PEG 20000 pada proses pembuatannya. Pada prinsipnya pembentukan porus pada  $\text{TiO}_2$  dilakukan agar dye dapat secara optimal masuk ke lapisan  $\text{TiO}_2$  pada kaca konduktif. Sehingga, aliran elektron dapat maksimal dan tentunya dapat menghasilkan arus yang maksimal sehingga berdampak pada efisiensi yang dihasilkan.

Berdasarkan uraian yang telah disebutkan, maka melalui penelitian ini akan dilakukan pengembangan penelitian tentang penggunaan PEG dalam pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  untuk memaksimalkan penyerapan dye dari bahan sintetis N-749 sebagai *Dye Sensitizer* dalam pembuatan DSSC. Variasi yang digunakan pada penelitian ini adalah penggunaan PEG-1000, PEG-4000, dan tanpa penambahan PEG pada pembuatan pasta

TiO<sub>2</sub> dan selanjutnya dibandingkan kemampuan efisiensi yang dihasilkan dalam mengkonversi energi cahaya ke listrik.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana membuat prototipe DSSC berbasis dye sintetis N-749 sebagai *dye sensitizer* yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik.
- b. Bagaimana pengaruh penambahan PEG pada proses pembuatan pasta TiO<sub>2</sub> terhadap efisiensi yang dihasilkan.
- c. Bagaimana pengaruh perbedaan berat molekul PEG yang digunakan pada proses pembuatan pasta TiO<sub>2</sub> terhadap efisiensi yang dihasilkan.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan permasalahan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Membuat prototipe DSSC berbasis TiO<sub>2</sub> orde nano dengan bahan dye sintetis N-749 sebagai *dye sensitizer* yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik.
- b. Mengetahui pengaruh penambahan PEG pada proses pembuatan pasta TiO<sub>2</sub> terhadap efisiensi yang dihasilkan.
- c. Mengetahui pengaruh perbedaan perbedaan berat molekul PEG yang digunakan pada proses pembuatan pasta TiO<sub>2</sub> terhadap efisiensi yang dihasilkan.

## 1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan tujuan di atas, maka batasan masalah dari penelitian ini adalah:

- a. Bahan semikonduktor yang digunakan sebagai elektroda kerja adalah  $\text{TiO}_2$  orde nano, dan tidak dibahas secara rinci mengenai pengaruh zat-zat yang dipakai dalam proses pembuatan.
- b. Substrat yang digunakan berupa kaca konduktif ITO (*Indium Tin Oxide*).
- c. Teknik pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$  pada kaca konduktif dilakukan menggunakan teknik *doctor blade* dengan ketebalan  $10\mu\text{m}$  dan luas  $2\text{cm}^2$ . Tidak dilakukan variasi teknik, ketebalan, dan luas permukaan  $\text{TiO}_2$  terdepresiasi.
- d. Elektrolit yang digunakan berupa elektrolit gel.
- e. Dye yang digunakan adalah N-749 yang merupakan produk dari *Sigma Aldrich*. Karakterisasi yang akan dilakukan terkait dengan dye ini adalah mengetahui karakteristik absorbansi dye terhadap panjang gelombang cahaya, dan tidak diteliti secara rinci karakteristik mengenai interaksi dye terhadap  $\text{TiO}_2$  dan elektrolit.
- f. Proses dan karakterisasi arus dan tegangan (I-V) dilakukan di Laboratorium Fisika UNS Solo, dengan pengujian menggunakan Alat Keithley I-V meter (2602A *system sourcemeter*) di bawah penyinaran lampu Xenon ( $984.3\text{ mW/cm}^2$ ), dan tidak dilakukan variasi sumber sinar lainnya.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah menghasilkan prototipe DSSC berbasis  $\text{TiO}_2$  orde nano dengan bahan dye sintesis N-749 serta memberi gagasan dan pengembangan dalam bidang riset DSSC sebagai energi terbarukan yang mudah dalam pembuatannya.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
3. Bab III – Metodologi penelitian, peralatan penelitian, perangkat pengujian, bahan penelitian, uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan serta diagram alir penelitian.
4. Bab IV – Hasil dan Pembahasan, menjelaskan tentang hasil-hasil pengujian yang dilakukan pada penelitian ini, serta pembahasan dari setiap hasil ujinya.
5. Bab V – Penutup, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
6. Lampiran, berisi data – data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian ini.

*"Halaman ini sengaja dikosongkan"*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

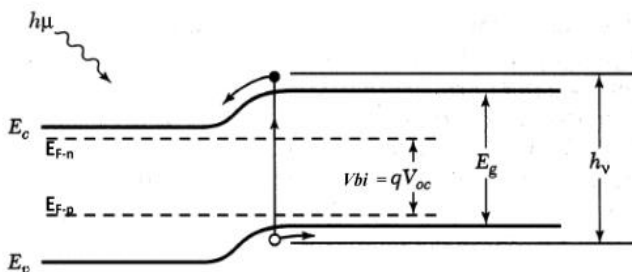
#### **2.1 Sel Surya**

Walaupun besarnya energi yang diterima oleh permukaan bumi hanya sebesar 69% namun matahari merupakan sumber energi utama yang dapat memancarkan energi cahaya. Suplai energi dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi setara dengan  $2 \times 10^{17}$  Watt (O'Regan & Gratzel, 1991). Namun energi surya masih memiliki kekurangan yaitu tidak konstan sehingga radiasi cahaya matahari yang terdiri dari biasan foton-foton memiliki tingkat energi yang berbeda-beda (Wibowo, 1999).

Pemanfaatan energi surya yang banyak dilakukan adalah dengan dikonversi menjadi energi listrik. Suatu peralatan yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik tentu melalui efek fotovoltaiik. Efek fotovoltaiik merupakan fenomena dimana suatu sel fotovoltaiik dapat menyerap energi dan merubahnya menjadi listrik secara langsung (Green Martin, 1982).

Suatu peralatan yang memanfaatkan efek fotovoltaiik adalah sel surya. Sel surya merupakan perangkat semikonduktor yang berkerja mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik dengan memanfaatkan proses transfer elektron yang berasal dari energi foton dari matahari yang ditransmisikan ke bahan semikonduktor. Mekanisme kerja yang terjadi pada sel surya berdasarkan efek fotovoltaiik. Dalam struktur *p-n junction*, sel surya terbuat dari dua kristal yang telah diberi *doping* seperti silikon dan germanium. Dalam proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pembagian tugas sebagai penyerap cahaya, pembawa muatan dan transportasi dilakukan oleh elektron dalam bahan semikonduktor tersebut. Ketika sel surya diletakkan di bawah spektrum cahaya, foton yang memiliki energi lebih besar dari band gap akan memberikan kontribusi pada energi keluaran sel surya. Efek fotovoltaiik sendiri pertama kali ditemukan oleh Henri Becquerel pada tahun 1893 (R. Sastrawan, 2006).

Prinsip kerja sel surya merupakan penerapan dari prinsip sambungan semikonduktor tipe-p dan tipe-n yang di tunjukkan pada Gambar 2.1. Ketika persambungan semikonduktor tipe-p dan tipe-n terjadi, maka gradien konsentrasi pembawa muatan yang cukup besar dan mengakibatkan terjadinya difusi pada pembawa muatan tersebut. Arus difusi merupakan arus yang mengalir dari wilayah yang memiliki konsentrasi tinggi ke wilayah yang memiliki konsentrasi rendah (Sze, 1985). Pembawa muatan negatif yang disebut elektron akan berdifusi dari semikonduktor tipe-n ke semikonduktor tipe-p dan pembawa muatan positif yang disebut hole berdifusi dari semikonduktor tipe-p ke semikonduktor tipe-n. Karena adanya difusi antara dua muatan yang berbeda tersebut, maka timbul medan listrik yang, menyebabkan terjadinya arus drift. Arus drift atau arus balik ini memiliki arah yang berlawanan dengan arah arus difusi. Ketika arah arus balik seimbang dengan arus difusi, maka akan tercapai keseimbangan yang ditandai dengan samanya nilai tingkat energi fermi pada kedua jenis semikonduktor pada suatu kesetimbangan termal dan menimbulkan terbentuknya daerah deplesi. Beda potensial elektrostatik antara kedua semikonduktor, yaitu semikonduktor tipe-p dan semikonduktor tipe-n pada kesetimbangan termal disebut dengan potensial built-in ( $V_{bi}$ ) (Sze, 1985).



**Gambar 2.1** Level energi *p-n junction* pada sel surya (Sze, 1985).

Ketika cahaya mengenai suatu bahan semikonduktor dengan energi yang lebih besar daripada energi gap semikonduktor, maka

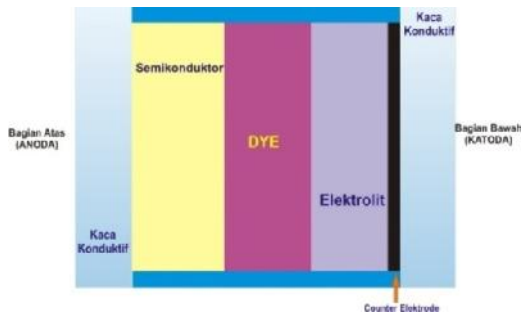
akan terjadi eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Ketika sel surya diiluminasi oleh cahaya dengan energi yang lebih besar daripada energi gap semikonduktor pada sel surya, maka akan terjadi eksitasi elektron. Eksitasi elektron tersebut menyebabkan terbentuknya pasangan *hole*-elektron pada daerah deplesi (Sze,1985).

Saat ini sel surya banyak mengalami pengembangan guna mengatasi persoalan pada biaya pembuatan dan bahan yang digunakan. Generasi sel surya selanjutnya sampai kepada sel surya fotoelektrokimia yang kemudian dikembangkan kembali menjadi sel surya tersensitisasi zat warna yang disebut *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). DSSC ini merupakan sel surya generasi ketiga yang dikembangkan oleh Michael Gratzel pada tahun 1991 (O'regan dan Gratzel, 1991).

## **2.2 Dye Sensitized Solar Cell**

*Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC) ditemukan pertama kali pada tahun 1991 oleh Michael Gratzel yang sekaligus menjadikan sel ini dikenal dengan sel Gratzel. Sel ini merupakan pengembangan dari sel surya fotoelektrokimia yang menggunakan efek fotovoltaiik untuk menghasilkan listrik, dimana efek fotovoltaiik tersebut didasarkan pada persambungan antara bahan semikonduktor dengan cairan elektrolit yang mengandung pasangan reduksi dan oksidasi. Sistem baru dari DSSC ini adalah adanya dye atau zat warna sebagai sensitizer (membuat sel surya menjadi peka terhadap cahaya) untuk menyerap cahaya dan menginjeksikan elektron pada bahan semikonduktor (Smestad, 1998). Gratzel menciptakan sel surya jenis ini karena pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Vlachopolus masih menghasilkan efisiensi yang rendah. Hal ini disebabkan permukaan  $\text{TiO}_2$  datar sehingga tingkat penyerapan cahaya oleh dye masih rendah (Longo, 2003). Sehingga pada DSSC digunakan  $\text{TiO}_2$  yang berukuran nano sehingga luas permukaan partikel  $\text{TiO}_2$  secara keseluruhan menjadi lebih luas dan dye yang terserap pada  $\text{TiO}_2$  semakin banyak (O'regan dan Gratzel, 1991).



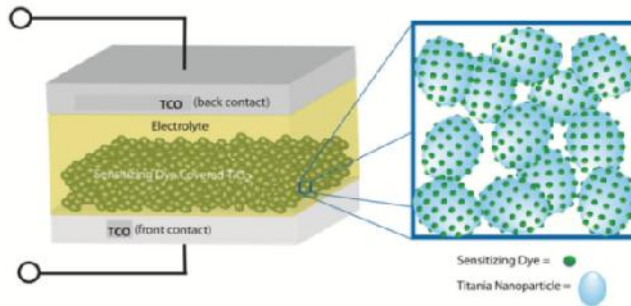


**Gambar 2.2** Susunan Dye Sensitized Solar Cell.

DSSC pertama hanya dapat digunakan untuk spektrum ultraviolet dan biru pada cahaya matahari. Seiring perkembangan jaman, kemajuan teknologi mampu memperlebar frekuensi cahaya. Umumnya digunakan  $\text{TiO}_2$  sebagai lapisan aktif yang menyerap cahaya. Sedangkan *sensitizing dye* berfungsi sebagai penyerap spektrum cahaya. Sel surya ini mampu merespon cahaya matahari dengan memanfaatkan bahan dye tertentu. Bahan dye yang paling efisien dikenal dengan dye hitam karena warna dari dye yang sangat gelap. Meskipun solar sel berbasis silikon (Si) saat ini lebih efisien, DSSC tetap banyak dikembangkan karena proses manufakturnya yang mudah dan relatif lebih murah (O'Regan & Gratzel, 1991).

Komponen DSSC diilustrasikan pada Gambar 2.2 yang terdiri dari elektroda kerja, elektroda pembanding dan elektrolit. Elektroda kerja terdiri dari ITO (*Indium Tin Oxide*) sebagai substrat,  $\text{TiO}_2$  sebagai kolektor elektron, dye sebagai penyerap cahaya dan donor elektron. Elektroda pembanding berupa kaca ITO yang dilapisi dengan karbon sebagai katalis. Sedangkan elektrolit yang digunakan sebagai media transfer elektron (Smestad, 1998). Pada DSSC, absorpsi cahaya dilakukan oleh molekul zat pewarna, sehingga jumlah zat pewarna yang terserap pada elektroda sangat menentukan jumlah aliran foton yang terbentuk. Dalam aplikasinya, elektroda dibuat dalam skala nano

agar jumlah zat pewarna yang terserap semakin banyak sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.3. (Li, X.D, 2010).



**Gambar 2.3** Efek luas permukaan  $\text{TiO}_2$  terhadap jumlah zat pewarna yang terserap (Hardin, B.E, 2010).

## 2.3 Komponen DSSC

### 2.3.1 Substrat

DSSC membutuhkan suatu substrat sebagai tempat melekatnya material penyusunnya. Substrat yang umum digunakan pada DSSC yaitu jenis TCO (*Transparent Conductive Oxide*). TCO merupakan kaca transparan konduktif yang dapat menghantarkan muatan. Oksida yang umum digunakan antara lain FTO (*Fluorine-doped Tin Oxide*) dan ITO (*Indium-doped Tin Oxide*). Penggunaan kaca konduktif dalam DSSC tidak lepas dari sifatnya yang tidak hanya konduktif secara elektrik tapi juga dapat ditembus cahaya. Sifat ini penting karena tanpa cahaya yang mengenai penyerap cahaya, foton tidak akan mengeksitasi elektron pada lapisan penyerap cahaya. Tanpa adanya elektron yang tereksitasi, tidak akan terjadi pemisahan elektron yang berarti tidak akan dihasilkan muatan listrik (Puspitasari, 2012).

Saat ini, TCO yang paling sering dimanfaatkan secara komersial ialah ITO karena transparansinya mencapai 80-85% serta memiliki ketebalan yang amat tipis. ITO tersusun dari  $\text{In}_2\text{O}_3$  (Indium Oksida) yang di doping dengan 10%  $\text{SnO}_2$  (Timah Oksida).  $\text{In}_2\text{O}_3$  sudah memiliki karakteristik dasar transparan-

konduktif, namun penelitian yang panjang telah membuktikan bahwa penambahan 10-15%  $\text{SnO}_2$  mampu meningkatkan konduktivitas secara signifikan. Penambahan  $\text{SnO}_2$  meningkatkan jumlah elektron di dalam ITO sehingga memberikan efek positif pada sifat konduktivitas total ITO.

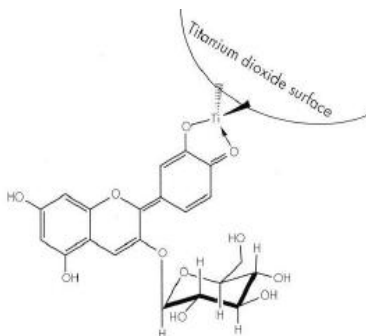
### **2.3.2 Lapisan Semikonduktor**

Penggunaan lapisan semikonduktor pada DSSC sangat menentukan kemampuan suatu DSSC dalam mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Lapisan semikonduktor sering digunakan dalam pembuatan DSSC dikarenakan kestabilannya dalam menghadapi fotokorosi serta memiliki lebar pita energi yang besar ( $>3\text{eV}$ ). Orde nano dalam layer oksida DSSC sangat mempengaruhi kemampuannya dalam menyerap cahaya karena memiliki karakteristik luas permukaan yang tinggi sehingga dye yang teradsorpsi lebih banyak (Handini, 2008).

### **2.3.3 Dye**

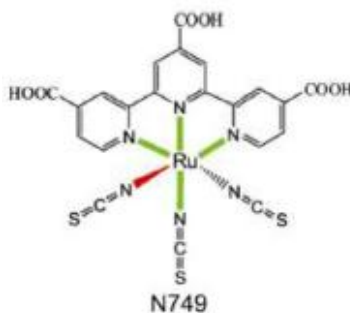
Dye merupakan suatu material yang berfungsi untuk menangkap foton cahaya. Pada proses penyinaran pewarna akan bertugas menginjeksi elektron ke pita konduksi dari semikonduktor. Dapat dikatakan bahwa dye berperan sebagai donor elektron ketika proses menyerap cahaya (Halme, 2002).

Dye yang digunakan pada DSSC terdiri dari dua jenis, yaitu dye sintetis dan dye alami. Dye alami didapatkan dari ekstrak bagian tumbuhan yang mengandung antosianin, klorofil, karoten, dan curcumin yang mengandung gugus karbonil dan hidroksil, sedangkan dye Sintetis terbuat dari bahan Ruthenium kompleks mengandung gugus karboksil. Gugus-gugus tersebut berfungsi untuk menempelkan diri pada permukaan semikonduktor oksida (Silviyanti, 2013).



**Gambar 2.4** Struktur molekul dye yang berikatan dengan  $\text{TiO}_2$  (Gleue, 2008).

Dye yang efisien harus memiliki sifat optik dan karakteristik penyerapan yang intens pada daerah cahaya tampak dan memiliki sifat absorpsi kimia yang kuat ke permukaan  $\text{TiO}_2$  (Gambar 2.4). Untuk kebutuhan tersebut dihasilkan dye sintesis dari bahan kimia. Dye sintesis yang digunakan sebagai sensitizer adalah dye turunan dari ruthenium kompleks, salah satunya adalah N-749. Senyawa ruthenium memiliki gugus karboksil yang berfungsi untuk menempelkan diri pada permukaan semikonduktor oksida. Dye N-749 merupakan nama produk dari Sigma Aldrich. Dye ini juga disebut dengan *Black dye*, Ruthenium 620, dan lain-lain. Rumus empiris dari dye ini adalah  $\text{C}_{69}\text{H}_{116}\text{N}_9\text{O}_6\text{RuS}_3$  (Bang S.Y, 2012).



**Gambar 2.5** Struktur Kimia Dye N-749 (Bang S.Y,2012).

### 2.3.4 Elektrolit

DSSC menggunakan elektrolit yang terdiri dari pasangan iodine ( $I^-$ ) dan triiodide ( $I_3^-$ ) sebagai redoks dalam pelarut. Umumnya digunakan elektrolit cair sebagai komponen penyusun DSSC. Kekurangan dari elektrolit cair adalah adanya ketidakstabilan yang disebabkan oleh jenis pelarut yang digunakan yaitu pelarut organik dan digabungkan dengan proses penyinaran yang menimbulkan panas, maka akan terjadi kehilangan elektrolit yang berarti proses pengubahan energi matahari menjadi listrik dapat terhenti (Smestad, 1998).

Elektrolit berfasa gel menjadi alternatif terbaru untuk mengatasi permasalahan pada Elektrolit liquid. Elektrolit gel berbasis polimer merupakan alternatif untuk membuat Elektrolit gel. Dari beberapa penelitian menyebutkan bahwa terdapat beberapa bahan polimer yang dapat digunakan diantaranya *polyethylene glycol* (PEG), *polyethylene oxide* (PEO), *polymethyl acrylate* (PMA), dan *polyvinil acetate* (PVAc). Efisiensi yang dicapai dari beberapa polimer tersebut pada fabrikasi DSSC secara berurutan adalah 28.1%, 7.17%, 5.62%, dan 3.17% sehingga yang lebih efektif digunakan adalah *polyethylene glycol* (PEG) (Wei Tu. Chi, 2008).

### 2.3.5 Katalis

Adanya material seperti platina (Pt) atau karbon (C) yang digunakan sebagai katalis pada DSSC berfungsi untuk mempercepat proses reduksi ion triiodide pada kaca substrat. Penggunaan karbon tidak sebaik platinum dan emas karena sifat katalis terhadap reduksi ion  $I_3^-$  lebih rendah dibandingkan platina (Won, J.L, et al. 2008). Namun mahalnya harga platina dan emas menyebabkan penggunaan karbon banyak menjadi pilihan *low-cost*. Selain itu karbon mempunyai luas permukaan tinggi dan keaktifan dalam reduksi triiodide menyerupai platina. Material karbon tahan terhadap korosi dimana hal hal sangat dibutuhkan mengingat penggunaan elektrolit pada DSSC (Silviyanti, 2013).

## 2.4 Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ )

Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) merupakan material semikonduktor yang telah diteliti secara luas dan digunakan berbagai aplikasi teknologi terkini. Aplikasi yang sesuai pada  $\text{TiO}_2$  ini sangat bergantung terhadap morfologi dari  $\text{TiO}_2$  tersebut.  $\text{TiO}_2$  memiliki tiga jenis fase yaitu anatase, rutile, dan brookite.  $\text{TiO}_2$  yang digunakan untuk aplikasi DSSC adalah  $\text{TiO}_2$  fase anatase karena memiliki sifat fotoaktif yang tinggi sehingga efektifitas penyerapan sinar matahari juga akan lebih baik (Maddu, 2010). Anatase merupakan fase metastabil dari Titania dan mengalami perubahan ke fase rutile saat perlakuan termal khususnya pada suhu 400-1200°C. Material  $\text{TiO}_2$  merupakan material semikonduktor tipe-n dengan nilai *band gap* sebesar 3,2eV untuk fase anatase (Nguyen-Phan, 2011).

$\text{TiO}_2$  yang digunakan umumnya dalam nanopartikel  $\text{TiO}_2$ . Pada aplikasi DSSC, struktur ukuran yang lebih kecil akan menaikkan kinerja sistem karena struktur ini mempunyai karakteristik luas permukaan yang besar sehingga akan meningkatkan jumlah dye yang menempel pada  $\text{TiO}_2$  dan implikasinya akan menaikkan jumlah cahaya yang diserap dan meningkatkan produksi fotoelektron (H. Zhang, 2000).

## 2.5 PEG (*Polyethylene Glycol*)

PEG (*Polyethylene Glycol*) merupakan polimer dari etilen oksida dan air, dibuat menjadi bermacam-macam panjang rantainya. Rumus empiris PEG dituliskan dengan  $\text{HOCH}_2(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_m\text{CH}_2\text{OH}$  dengan m menunjukkan jumlah rata-rata gugus *oxyethylene*. Atau  $\text{H}(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$  dapat pula merepresentasikan PEG dengan n adalah besarnya m+1. Besarnya nilai m pada setiap jenis PEG dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Raymond C Rowe, 2009).

Konsistensinya sangat dipengaruhi oleh bobot molekul. PEG dengan bobot molekul 200-600 (PEG 200-600) berbentuk cair, PEG 1500 semi padat, dan PEG 3000-20000 atau lebih berupa

padatan semi kristalin, dan PEG dengan bobot molekul lebih besar dari 100000 berbentuk seperti resin pada suhu kamar. Umumnya PEG dengan bobot molekul 1500-20000 yang digunakan untuk pembuatan dispersi padat (Leuner C. and Dressman, 2000).

**Tabel 2.1** Besarnya nilai m dan berat molekul pada PEG.

Nama	m	Berat molekul rata-rata
PEG 200	4.2	190 - 210
PEG 300	6.4	285 - 315
PEG 400	8.7	380 - 420
PEG 600	13.2	517 - 613
PEG 900	15.3	855 - 900
PEG 1000	22.3	950 - 1050
PEG 1450	32.5	1300 - 1600
PEG 1540	28.0 - 36.0	1300 -1600
PEG 2000	40.0 - 50.0	1800 - 2200
PEG 3000	60.0 - 75.0	2700 - 3300
PEG 3350	75.7	3000 - 3700
PEG 4000	69.0 -84.0	3000 - 4800
PEG 4600	104.1	4400 - 4800
PEG 8000	181.4	7000 - 9000

(Raymond C Rowe, 2009).

Kebanyakan PEG yang digunakan memiliki bobot molekul antara 4000 dan 20000, khususnya PEG 4000 dan 6000. Proses pembuatan dispersi padat dengan PEG 4000, umumnya menggunakan metode peleburan, karena lebih mudah dan murah (Leuner C. and Dressman, 2000). Semakin besar berat molekul PEG maka semakin panjang rantai oxyethylene yang dimiliki disamping itu pula *melting point* yang dimiliki pun lebih besar, seperti terlihat pada Tabel 2.2.

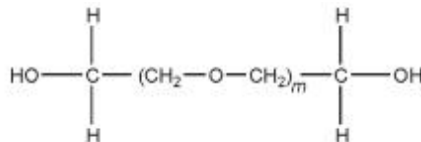
Secara umum PEG digunakan untuk bahan tambahan dalam pembuatan larutan. Semua jenis PEG larut dalam air dimana

semakin besar berat molekul yang dimiliki PEG maka akan lebih mudah membentuk gel. PEG dengan fasa cair larut dalam aseton, alkohol, benzena, gliserin, dan glikol. PEG dengan fasa padat larut dalam aseton, diklorometana, etanol (95%), dan metanol. Struktur PEG tertera pada Gambar 2.6 (Raymond C Rowe, 2009).

**Tabel 2.2** *Melting Point* PEG

Nama	<i>Melting Point</i> (°C)	Berat molekul rata-rata
PEG 1000	37 -30	950 - 1050
PEG 1540	40 – 48	1300 - 1600
PEG 2000	45 – 50	1800 - 2200
PEG 3000	48 – 54	2700 - 3300
PEG 4000	50 – 58	3000 - 4800
PEG 8000	60 – 63	7000 - 9000

(Raymond C Rowe, 2009).



**Gambar 2.6** Struktur PEG (Raymond C Rowe, 2009).

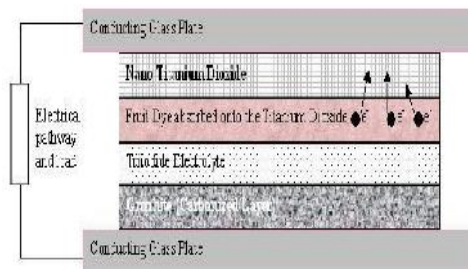
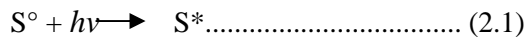
## 2.6 Prinsip Kerja DSSC

DSSC terdiri dari elektroda kerja, elektroda pembanding dan elektrolit. Elektroda kerja terdiri dari ITO (*Indium Tin Oxide*) sebagai substrat,  $\text{TiO}_2$  sebagai kolektor elektron, dye sebagai penyerap cahaya dan donor elektron. Elektroda pembanding berupa kaca ITO yang dilapisi dengan karbon sebagai katalis. Sedangkan elektrolit yang digunakan sebagai media transfer elektron (Smestad, 1998). Berbeda dengan sel surya konvensional, DSSC merupakan sel surya berbasis fotoelektrokimia sehingga menggunakan elektrolit sebagai medium transport muatan. Kesemuanya dideposisi diantara dua kaca konduktif. Pada dasarnya prinsip kerja DSSC mengkonversi energi cahaya ke listrik dalam skala molekular dalam bentuk



reaksi dari transfer elektron (Halme, 2002). Adapun mekanisme konversi energi cahaya menjadi energi listrik pada DSSC adalah sebagai berikut :

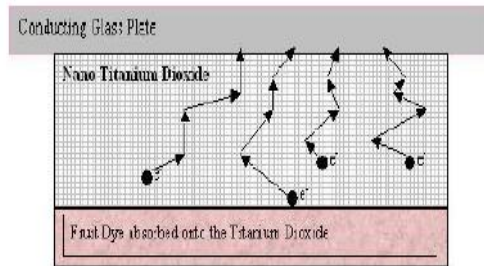
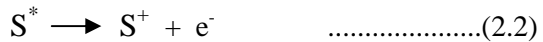
Ketika foton yang berasal dari cahaya matahari menimpa elektroda kerja pada DSSC, energi foton tersebut diserap oleh dye ( $S^0$ ) sehingga dye berubah menjadi  $S^+$  (dye yang menyerap foton). Karena mendapat tambahan energi dari foton sebesar  $h\nu$  maka  $S^+$  tereksitasi menjadi  $S^*$  sesuai persamaan reaksi berikut:



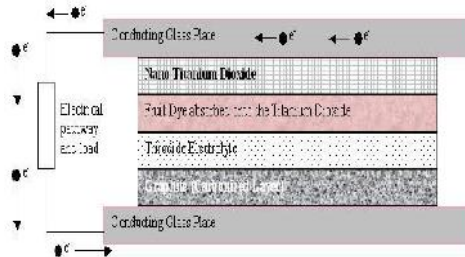
**Gambar 2.7** Tahap 1 prinsip kerja DSSC (Gleue, 2008).

Dye tereksitasi dan mengeluarkan fotoelektron untuk diinjeksikan menuju pita konduksi  $TiO_2$ .  $TiO_2$  ini dianggap sebagai semikonduktor tipe-n karena mendapat donor elektron dari dye sehingga  $TiO_2$  mendapat tambahan elektron.

Memasuki tahapan kedua, fotoelektron yang terinjeksi bergerak sepanjang nanopartikel  $TiO_2$  menuju sisi konduktif kaca atau anoda. Setelah mencapai anoda atau sisi konduktif kaca, fotoelektron melewati kaca konduktif dan bermigrasi melalui rangkaian luar menuju elektroda pembanding atau katoda. Molekul dye yang tereksitasi dan mengeluarkan fotoelektron yaitu  $S^*$  tadi menjadi teroksidasi dan berubah lagi menjadi  $S^+$  menurut persamaan reaksi :



**Gambar 2.8** Tahap 2 prinsip kerja DSSC (Gleue, 2008).

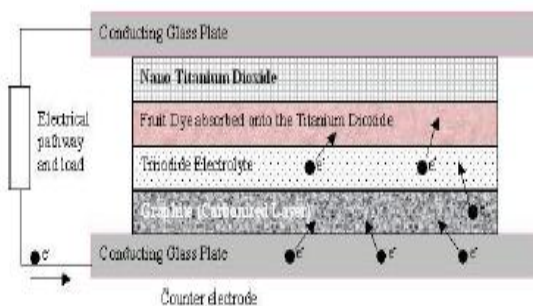


**Gambar 2.9** Tahap 3 prinsip kerja DSSC (Gleue, 2008).

Memasuki tahapan ketiga, sejumlah fotoelektron yang bermigrasi melalui rangkaian luar menuju katoda tadi, kelebihan energinya dikonversikan ke energi listrik oleh *device* dalam rangkaian yang dikasih pembebanan. Jumlah elektron per detik yang mengalir melalui beban merupakan arus sedangkan energi yang tersedia per elektron merupakan tegangan atau potensial listrik.

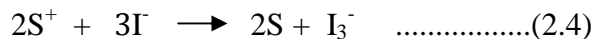
Pada tahap keempat, proses konversi melibatkan elektrolit. Biasanya elektrolit redoks yang digunakan berupa elektrolit cair yang merupakan pasangan iodide dan triiodide ( $I^-/I_3^-$ ). Pasangan iodide dan triiodide ( $I^-/I_3^-$ ) ini bertindak sebagai mediator elektron sehingga dapat menghasilkan siklus dalam sel. Akan tetapi karena

penggunaan elektrolit cair masih mengalami kebocoran, maka elektrolit cair diubah bentuknya menjadi elektrolit gel. Triiodida dari elektrolit yang terbentuk akan menangkap elektron yang berasal dari rangkaian luar dengan bantuan molekul karbon sebagai katalis, sesuai persamaan reaksi:



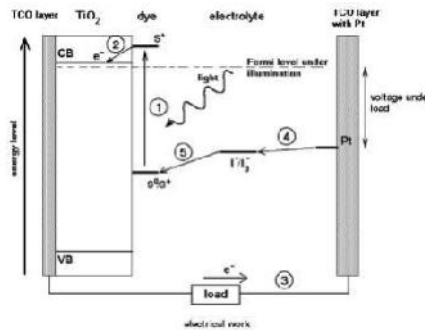
**Gambar 2.10** Tahap 4 prinsip kerja DSSC (Gleue, 2008).

Iodide ini digunakan untuk menyuplai elektron kepada dye untuk menggantikan elektron yang hilang dari molekul dye sehingga molekul dye yang teroksidasi tadi yaitu  $S^+$  kembali ke keadaan awal yaitu  $S^0$ . Iodide yang telah menyuplai elektron kepada dye menjadi teroksidasi dan berubah lagi menjadi Triiodide sesuai persamaan reaksi :



$S^0$  ini siap untuk menyerap foton kembali (Gambar 2.10) sehingga terbentuk suatu siklus transport elektron yang berulang-ulang dan karena adanya elektrolit pasangan  $I_3^-/I^-$  membuat siklus yang

berulang-ulang tersebut terjadi dalam kurun waktu tertentu tergantung ketahanan elektrolit yang digunakan. Dengan siklus tersebut terjadi konversi langsung dari energi cahaya menjadi energi listrik (Gleue, 2008). Secara keseluruhan, prinsip kerja DSSC tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.11** Prinsip kerja DSSC (Halme, 2002).

Adanya perbedaan tingkat energi Fermi elektroda semikonduktor  $\text{TiO}_2$  dengan potensial redoks ( $\text{I}^-/\text{I}_3^-$ ) elektrolit menyebabkan timbulnya tegangan pada sel surya  $\text{TiO}_2$  tersensitasi dye. Sedangkan arus yang dihasilkan terkait langsung dengan jumlah foton yang terlibat dalam proses konversi dan bergantung pada intensitas penyinaran serta kinerja dye yang digunakan (Li B, Wang L, 2006).

## 2.7 Karakteristik Sel Surya

Daya listrik dihasilkan oleh sel surya ketika mendapat cahaya dihitung dari kemampuan untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Hal tersebut sebagaimana direpresentasikan dalam kurva arus dan tegangan (I-V) pada Gambar 2.11 dimana diperlihatkan tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ), Arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ), Maximum Power Point (MPP), tegangan dan arus pada MPP ( $V_{MPP}$  dan  $I_{MPP}$ ). Ketika sel dalam kondisi *short circuit*, arus *short circuit*

( $I_{sc}$ ) dihasilkan, sedangkan pada kondisi *open circuit* tidak ada arus yang dapat mengalir sehingga tegangannya maksimum, disebut tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ). Karakteristik penting lainnya dari sel surya yaitu *Fill factor* ( $FF$ ). *Fill factor* sel surya merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara  $V_{oc}$  dan  $I_{sc}$ , menurut persamaan 2.5 :

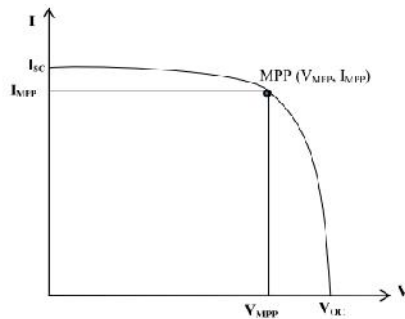
$$FF = \frac{V_{MPP} I_{MPP}}{V_{OC} I_{SC}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Daya maksimum dari sel surya diperoleh pada persamaan 2.6:

$$P_{MAX} = V_{OC} I_{SC} FF \dots\dots\dots(2.6)$$

Efisiensi adalah sifat terpenting yang menjadi tolak ukur performa sebuah perangkat sel surya. Nilai efisiensi sel surya dihitung dengan besarnya daya yang dihasilkan sel surya ( $P_{max}$ ) dibagi dengan daya cahaya yang datang ( $P_{cahaya}$ ) (Green Martin, 1982) dan secara matematis dituliskan:

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{cahaya}} \dots\dots\dots(2.7)$$



**Gambar 2.12** Kurva arus dan tegangan pada sel surya (Green Martin, 1982).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Alat dan Bahan**

##### **3.1.1 Alat**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *ultrasonic cleaner*, neraca digital, gelas ukur, beaker *glass*, *hot-plate*, *magnetic stirrer*, pipet, pH meter, mortar, indikator *stick*, krusibel, *furnace*, cuvet, pinset, kabel, dan penggaris.

Untuk karakterisasi sampel digunakan alat uji berupa *X-ray Diffractometer (XRD)*, *Ultra Violet Visible Spectrometer (UV-Vis Spectrometer)* dan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*

##### **3.1.2 Bahan**

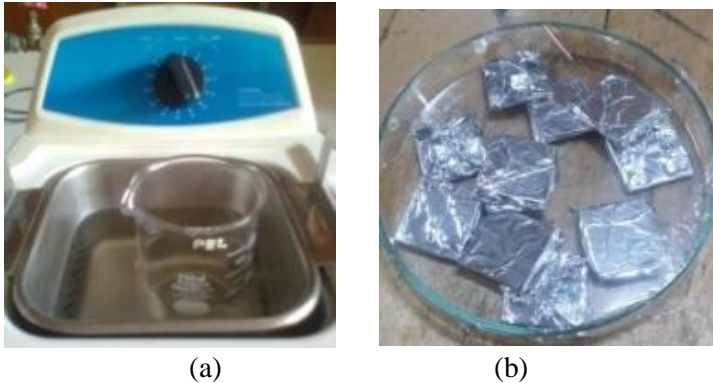
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah  $\text{TiCl}_3$ , aquades,  $\text{NH}_4\text{OH}$ , serbuk dye sintetis N-749, PEG-1000 (*Polyethylene Glycol*), PEG-4000 (*Polyethylene Glycol*), KI, Acetonitril, Iodine, HCL, Ethanol, Triton X-100, Asam Asetat, Pensil 8B.

#### **3.2 Prosedur Kerja**

##### **3.2.1 Persiapan**

Pada tahap persiapan ini meliputi persiapan dan pembersihan peralatan yang digunakan pada penelitian ini agar diperoleh bahan yang tidak terkontaminasi bahan lain. Pembersihan peralatan seperti mortar, beaker *glass*, pipet, dan krusibel.

Untuk pembersihan kaca ITO, dilakukan dengan menggunakan *ultrasonic cleaner*, yaitu dengan dituangkan alkohol 96% pada gelas kimia sebanyak 200ml kemudian dimasukkan kaca ITO berukuran  $2 \times 2 \text{ cm}^2$ . *Ultrasonic cleaner* diisi aquades sampai batas yang ditentukan. Berikutnya, gelas kimia yang telah berisi alkohol 96% dan kaca ITO dimasukkan ke *ultrasonic cleaner* dan diatur waktu 60 menit. Setelah 60 menit, kaca dikeringkan.



**Gambar 3.1** (a) Proses pembersihan kaca ITO dengan *ultrasonic cleaner* (b) Penyimpanan substrat dengan aluminium foil.

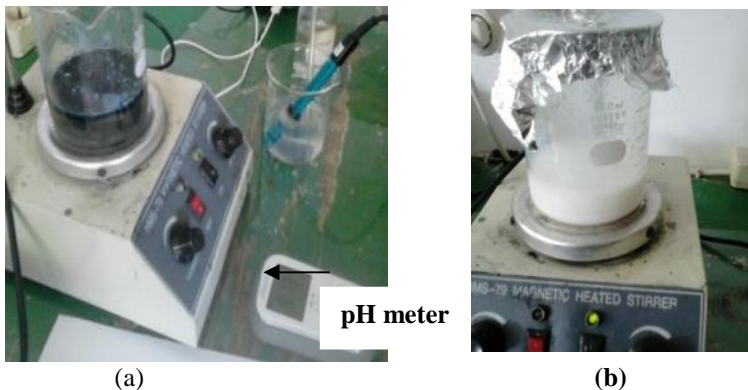
Kemudian disimpan dalam aluminium foil agar tidak terkontaminasi dengan material lain yang dapat mempengaruhi hasil pengujian dari sample yang akan dilapiskan pada kaca substrat (Puspitasari, 2012).

### 3.2.2 Sintesis nanopartikel $\text{TiO}_2$



**Gambar 3.2** Proses pengadukan bahan dengan menggunakan *magnetic stirrer*.

Sintesis nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dengan fase anatase dilakukan dengan metode kropsipitasi. Untuk mendapatkan serbuk  $\text{TiO}_2$  maka dicampurkan 20 ml  $\text{TiCl}_3$  dengan 100 ml aquades kemudian diaduk selama 1 jam. Selanjutnya dengan tetap dalam keadaan diaduk, larutan tersebut ditetesi  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan dikontrol pH dengan menggunakan pH meter digital hingga mencapai pH 9. Setelah dicapai pH 9, penetesan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dihentikan namun larutan tetap dalam keadaan diaduk hingga warna larutan menjadi putih pekat  $\pm 3$  jam.



**Gambar 3.3** (a) Proses penambahan  $\text{NH}_4\text{OH}$  dan pengontrolan pH pada pembuatan  $\text{TiO}_2$  (b) Terbentuk larutan berwarna putih setelah distirer selama  $\pm 1$  jam dari penambahan larutan  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

Selanjutnya, larutan tersebut diendapkan pada suhu kamar dan tertutup rapat selama 24 jam. Setelah mengendap, dilakukan pencucian dengan memisahkan endapan dengan larutan kemudian diganti dengan 200 ml aquades dan diaduk kemudian diukur pH lalu kembali di endapkan. Proses ini dilakukan berulang hingga diperoleh endapan dengan pH 7. Setelah diperoleh endapan dengan pH 7, endapan kemudian dikalsinasi pada suhu  $400^\circ\text{C}$  dengan waktu holding selama 3 jam hingga terbentuk serbuk  $\text{TiO}_2$  dengan fase anatase.



Untuk mengetahui fase yang diperoleh, maka dilakukan uji XRD hingga diperoleh data difraksi untuk diolah dengan *software* Match! Untuk menganalisis fasa dan *software* Maud untuk menganalisis ukuran partikel.



(a)



(b)

**Gambar 3.4** (a) Terbentuk endapan yang memisah dari cairan bening di atasnya (b) Serbuk  $\text{TiO}_2$  setelah proses kalsinasi.

### 3.2.3 Pembuatan Pasta $\text{TiO}_2$



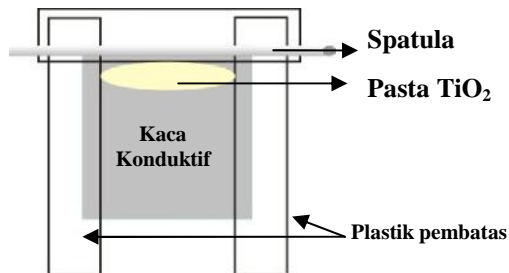
**Gambar 3.5** Proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  dengan mencampur bahan menggunakan mortar.

Pada proses pembuatan pasta, dicampurkan 0,7 gram serbuk  $\text{TiO}_2$  dengan 1,4 ml aquades kemudian dihaluskan dalam mortar selama 10 menit. Berikutnya, ditambahkan 0,7 ml asam asetat,

dan 0,7 ml Triton X-100 (Kook, Lee Jin. 2009). Pasta  $\text{TiO}_2$  yang sudah terbentuk dimasukkan ke dalam botol kemudian di tutup rapat. Langkah-langkah tersebut diulang namun dengan menambahkan PEG-1000 dan PEG-4000 pada masing-masing proses pembuatan pasta. Sehingga diperoleh pasta  $\text{TiO}_2$  dengan PEG-1000, pasta  $\text{TiO}_2$  dengan PEG-4000, dan tanpa PEG.

### 3.2.4 Pendeposisian Pasta $\text{TiO}_2$ pada Kaca ITO

Pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$  pada kaca ITO merupakan proses pelapisan pasta  $\text{TiO}_2$  pada permukaan konduktif dari kaca ITO. Sebelum dilakukan pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$ , terlebih dahulu dilakukan penentuan letak sisi konduktif dari substrat kaca ITO. Hal ini dilakukan untuk memastikan letak sisi konduktif yang akan dilapisi oleh pasta  $\text{TiO}_2$ . Pada penelitian ini pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan metode *doctor blade* yang diawali dengan dibentuknya area pembatas dari plastik setebal  $10\mu\text{m}$  pada sisi kaca ITO berukuran  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  untuk mendapatkan area pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$  dengan ukuran luasan  $1,5 \times 1 \text{ cm}^2$  juga sebagai kontrol ketebalan lapisan  $\text{TiO}_2$ .

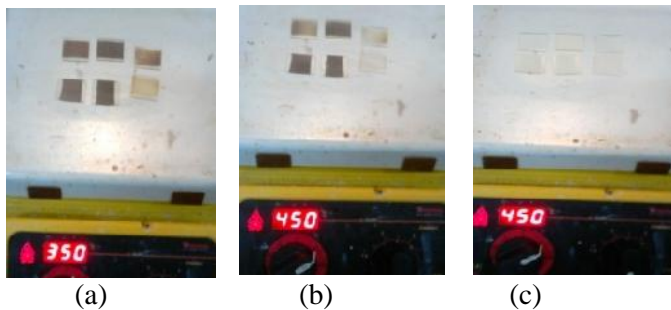


**Gambar 3.6** Teknik pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$

Setelah  $\text{TiO}_2$  terdeposisi kemudian dipanaskan pada suhu  $450^\circ\text{C}$ . Pada proses kalsinasi ini, kenaikan suhu dilakukan dengan rentang  $50^\circ\text{C}$  setiap 10 menit hingga mencapai  $450^\circ\text{C}$ , kemudian

diamati hingga terjadi perubahan warna menjadi putih kembali dan suhu mulai diturunkan dengan rentang yang sama.

Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan bahan-bahan campuran yang digunakan sebagai pelarut dalam pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  sehingga setelah pemanasan hanya tersisa semikonduktor yang melekat pada kaca sebelum dilakukan perendaman pada dye (Wahyudi, 2011).



**Gambar 3.7** Proses pemanasan elektroda kerja (a) Terjadi perubahan warna menjadi kecoklatan (b) Mulai berubah menjadi lebih terang (c) Elektroda kerja menjadi putih kembali.

### 3.2.5 Analisa Morfologi Permukaan $\text{TiO}_2$ yang telah terdeposisi pada kaca substrat

Sebelum direndamkan ke dalam dye, lapisan  $\text{TiO}_2$  yang terdeposisi pada kaca substrat dianalisa SEM-EDX untuk mengetahui struktur morfologi permukaan dan bahan atau material apa saja yang ada pada pasta  $\text{TiO}_2$  terdeposisi setelah melalui proses pemanasan. Dengan mengetahui struktur morfologi permukaan, maka dapat diketahui pengaruh adanya variasi PEG pada proses pembuatan  $\text{TiO}_2$  dimana pada beberapa penelitian penambahan PEG dimaksudkan untuk memperbesar area permukaan  $\text{TiO}_2$  sehingga dapat menyerap dye dengan maksimum dan memberikan dampak positif pada kinerja DSSC. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui material apa saja

yang menempel pada kaca substrat setelah adanya proses pemanasan.



(a)

(b)

**Gambar 3.8** (a) Proses *coating* sampel sebelum SEM-EDX (b) Proses Analisa Morfologi Permukaan  $\text{TiO}_2$  yang telah terdeposisi pada kaca substrat.

### 3.2.6 Pembuatan Larutan Dye

Pada penelitian ini digunakan dye berbasis bahan sintesis yakni dye N-749. Larutan dye dibuat dari 5miligram serbuk dye yang dilarutkan kedalam 93ml ethanol dan diaduk menggunakan stirrer hingga larut. Kemudian larutan yang telah dibentuk disimpan dalam botol dalam kondisi tertutup rapat.



**Gambar 3.9** Proses pembuatan larutan Dye dengan *magnetic stirrer*.

### 3.2.7 Karakterisasi Absorbansi Larutan Dye

Daya absorbansi larutan dye yang digunakan diketahui dengan menggunakan spektrometer UV-Vis. Disiapkan dua buah cuvet, sebuah cuvet diisi dye dan cuvet yang lain diisi ethanol untuk mengkalibrasi spektrometer UV-Vis. Kemudian keduanya diletakkan ke dalam spektrometer UV dan deprogram untuk mengetahui grafik absorbansi terhadap panjang gelombang.



(a)



(b)

**Gambar 3.10** (a) Spektrophotometer UV-Vis merk Genesys 10S  
(b) Proses peletakan sampel untuk diuji absorbansi.

### 3.2.8 Perendaman Elektroda Kerja

Perendaman elektroda kerja kedalam 10 ml larutan dye selama 24 jam.



**Gambar 3.11** Perendaman elektroda kerja.

### 3.2.9 Pembuatan Elektrolit

Elektrolit yang digunakan pada penelitian ini berupa elektrolit gel berbasis PEG 1000. Pembuatan elektrolit gel diawali dengan pembuatan elektrolit cair yang dibuat dari 3 gram KI dilarutkan dalam 10 ml acetonitril. Kemudian, dicampurkan 7 gram PEG 1000, 25 ml kloroform, dan elektrolit cair yang telah dibuat. Berikutnya, campuran diaduk secara homogen dengan *magnetic stirrer* sambil dipanaskan pada suhu 80°C (Puspitasari, 2012).



**Gambar 3.12** Proses pembuatan larutan elektrolit gel dengan *magnetic stirrer*.

### 3.2.10 Pembuatan Elektroda Pembanding

Elektroda pembanding pada DSSC berupa kaca dengan permukaan konduktif dilapisi oleh karbon. Karbon berfungsi sebagai katalis untuk mempercepat reaksi pada DSSC. Pada penelitian ini digunakan karbon yang berasal dari serbuk karbon pensil 8B. Serbuk tersebut kemudian dihaluskan dengan ditambahkan ethanol.



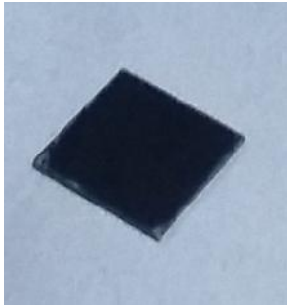
(b)



(b)

**Gambar 3.13** (a) Serbuk graphit dari pensil 8B (b) Proses pembuatan larutan elektroda pembanding dengan *magnetic stirrer*.

Berikutnya, dideposisi pada kaca ITO dan dipanaskan pada suhu  $250^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 20$  menit untuk menghilangkan ethanol sehingga hanya tertinggal karbonnya saja (Misbachudin, 2011).



(a)

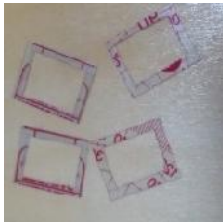


(b)

**Gambar 3.14** (a) Deposisi elektroda pembanding ke ITO (b) Proses pemanasan elektroda pembanding untuk menghilangkan ethanol.

### 3.2.11 Pembuatan *Sandwich* DSSC

Lapisan sandwich secara berurutan terdiri dari elektroda kerja, elektrolit dan elektroda pembanding. Sisi-sisi elektroda pembanding dilapisi dengan pembatas plastik.



(a)



(b)

**Gambar 3.15** (a) Pembatas yang digunakan untuk menyusun DSSC dengan ketebalan  $40\mu\text{m}$  (b) Elektroda pembanding yang telah diberi pembatas.

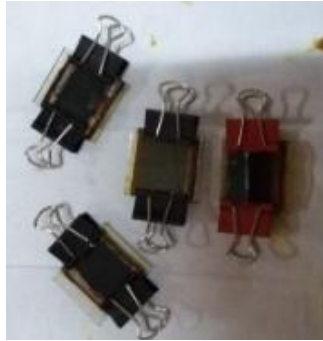
Setelah elektrolit diisi, kemudian ditutup dengan elektroda kerja dengan rapat.



**Gambar 3.16** Proses pengisian elektrolit.

Agar setiap lapisan pada sandwich DSSC dapat bekerja dengan baik, maka *packaging* dibuat sedemikian rupa salah satunya dengan memanfaatkan plastik pembatas area dan kontrol ketebalan yang dibiarkan tetap berada pada sisi sel yang telah dibuat dan dipermukaannya diberi perekat untuk merekatkan elektroda kerja, elektrolit, dan juga elektroda pembanding.





**Gambar 3.17** Packaging DSSC

### 3.2.12 Karakterisasi Arus dan Tegangan pada DSSC



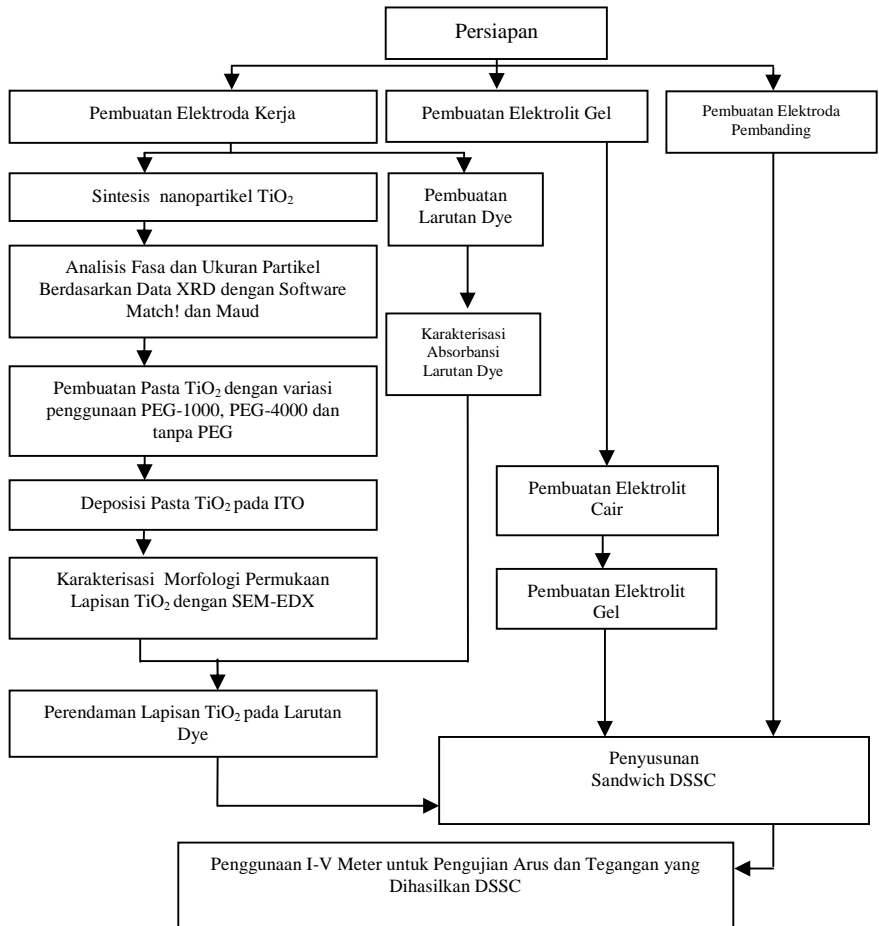
**Gambar 3.18** Proses pengukuran arus dan tegangan pada DSSC.

Karakterisasi Arus dan Tegangan (I-V) pada DSSC akan dilakukan di Lab. Fisika UNS-Solo menggunakan Keithley I-V meter (2602A *system sourcemeter*). Data luaran dari I-V meter merupakan nilai arus dan tegangan. Perlakuan yang diberikan adalah memberikan tegangan input hingga 10 Volt dengan skala 0,5 Volt pada kondisi disinari lampu Xenon dengan intensitas  $984.3 \text{ W/m}^2$ . Dari data luaran yang diperoleh, kemudian dibuat grafik hubungan antara tegangan dan arus menggunakan

*Microsoft Excel*. Dari grafik hubungan tersebut dapat diketahui karakteristik sel DSSC yang dibuat dengan menganalisa parameter sel-surya yaitu tegangan *open-circuit* ( $V_{oc}$ ), arus *short-circuit* ( $I_{sc}$ ), *Maximun Power Point* ( $MPP$ ), tegangan dan arus pada  $MPP$  ( $VMPP$  dan  $IMPP$ ), *fill factor* ( $FF$ ) dan efisiensi.

### 3.3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap sesuai dengan diagram alir pada Gambar 3.17.



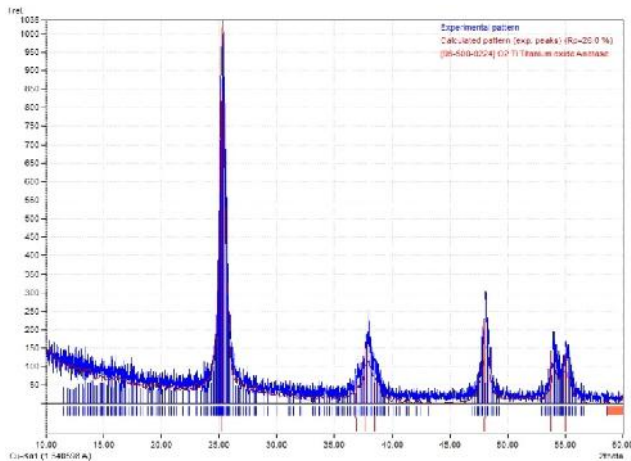
**Gambar 3.19** Diagram alir penelitian.

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Penelitian

#### 4.1.1 Hasil XRD Semikonduktor $\text{TiO}_2$

Sintesis  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan metode kopresipitasi kemudian dihasilkan diuji XRD dan hasilnya diolah dengan *software Match!* untuk mengetahui fase yang terbentuk. Dari hasil pengolahan menggunakan *software Match!* dapat dilihat pada Gambar 4.1 diperoleh fase Anatase.

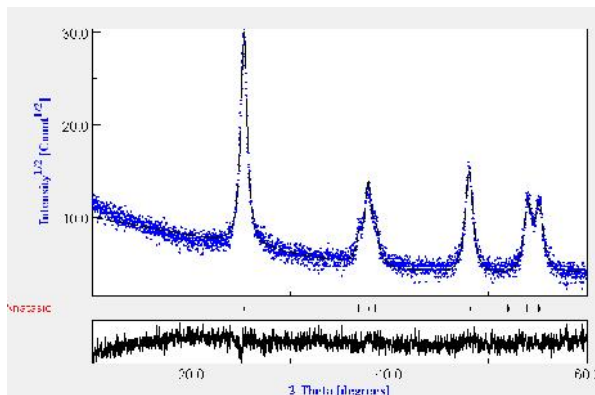


**Gambar 4.1** Puncak-puncak kristal yang menunjukkan  $\text{TiO}_2$  fase anatase dengan *software Match!*.

Dari Gambar 4.1 diketahui bahwa adanya sudut-sudut kristal yang membentuk fase Anatase dengan sudut puncak kristal tertinggi fase anatase terjadi pada sudut  $2\theta = 25.32^\circ$ . Sedangkan untuk puncak-puncak yang lain, fase Anatase terbentuk pada sudut  $2\theta = 36.96^\circ, 37.83^\circ, 38.53^\circ, 48.06^\circ, 53.88^\circ$ , dan  $55.08^\circ$ . Penentuan jenis fase  $\text{TiO}_2$  yang dihasilkan didasarkan pada keserasian letak puncak sudut ( $2\theta$ ) tertentu dengan data *sheet* yang ada.

Selain fase, perlu diketahui pula ukuran dari partikel  $\text{TiO}_2$  yang terbentuk. Untuk itu dilakukan proses penghalusan *Rietveld* menggunakan *software* MAUD (*Materials Analysis Using Diffraction*). Analisis *Rietveld* dilakukan melalui proses *refinement*. Hasil penghalusan *Rietveld* dengan MAUD dapat diterima dengan syarat  $\text{Sig} < 2\%$  dan  $\text{Rw} < 15\%$  (E.H Kisi, 1994). Pada penelitian ini, diperoleh ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  yang terbentuk adalah 15,1 nm dengan  $\text{Sig} = 1.3082525$  dan  $\text{Rw}(\%) = 16.095331$ .

Hasil pengolahan menggunakan *software* MAUD dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pola terukur ditunjukkan dengan tanda (+) warna biru dan pola difraksi terhitung digambarkan dengan garis lurus warna hitam, sedangkan kurva paling bawah menunjukkan selisih antara keduanya.

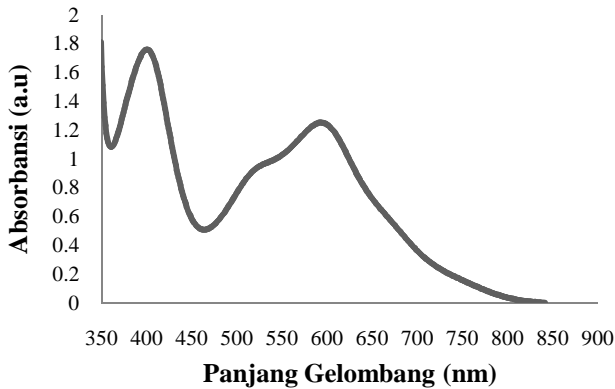


**Gambar 4.2** Kecocokan pola terukur pada hasil pengujian XRD dengan pola terhitung sampel  $\text{TiO}_2$ .

#### 4.1.2 Hasil Absorbansi Larutan Dye N-749

Pengujian absorbansi dye dilakukan dengan menggunakan spektrophotometer UV-Vis merk Genesys 10S yang ada di laboratorium Zat Padat Jurusan Fisika ITS. Hasil pengujian absorbansi tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.3. Berdasarkan hasil uji absorbansi tersebut dapat dilihat bahwa

dye sintetis N749 memiliki spektrum absorpsi yang berkisar antara 300–800 nm dengan absorpsi maksimum dye terletak pada 399 dan 587 nm.



**Gambar 4.3** Grafik absorpsi dye yang diukur dengan spektrometer UV-Vis.

#### 4.1.3 Hasil Uji SEM Permukaan $\text{TiO}_2$ yang telah dideposisi pada kaca substrat

Pada penelitian ini dilakukan variasi pada pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  yaitu pasta  $\text{TiO}_2$  tanpa PEG, pasta  $\text{TiO}_2$  dengan PEG 1000, dan pasta  $\text{TiO}_2$  dengan PEG 4000. Bentuk PEG 1000 dan PEG 4000 dapat dilihat pada Gambar 4.4.



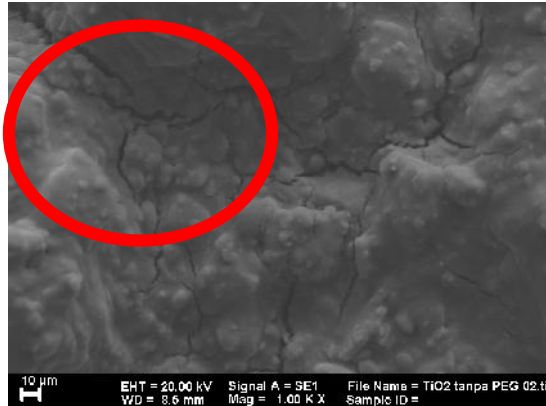
(a)



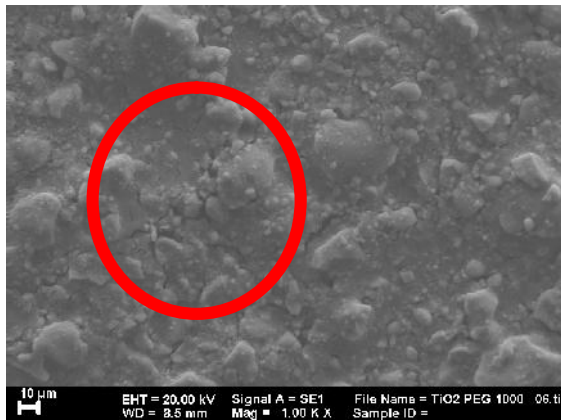
(b)

**Gambar 4.4** (a) PEG 1000 (b) PEG 4000.

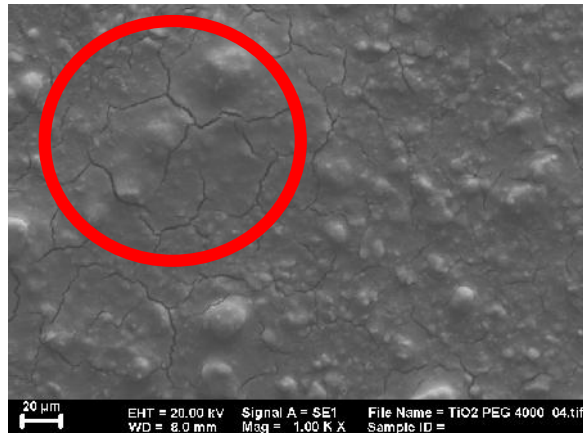
Secara keseluruhan hasil dari SEM-EDX menunjukkan adanya adanya retakan (*crack*) pada Gambar 4.5 hingga Gambar 4.7.



**Gambar 4.5** Morfologi permukaan pasta TiO<sub>2</sub> tanpa PEG terdeposisi pada kaca substrat.

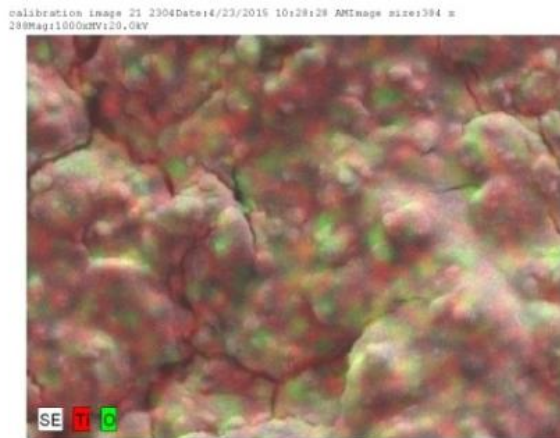


**Gambar 4.6** Morfologi permukaan pasta TiO<sub>2</sub> dengan PEG 1000 terdeposisi pada kaca substrat.



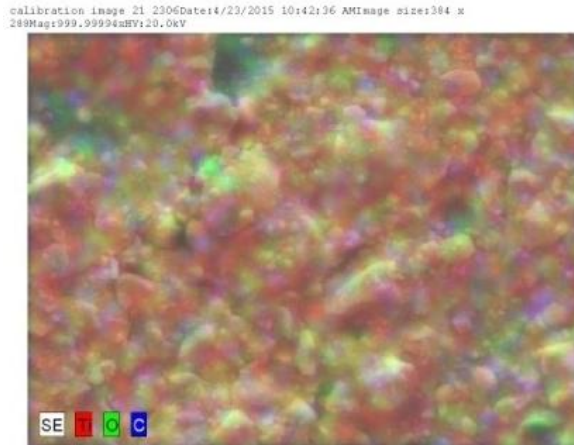
**Gambar 4.7** Morfologi permukaan pasta TiO<sub>2</sub> dengan PEG 4000 terdepositasi pada kaca substrat.

Untuk distribusi TiO<sub>2</sub> secara keseluruhan pada kaca substrat dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.10.

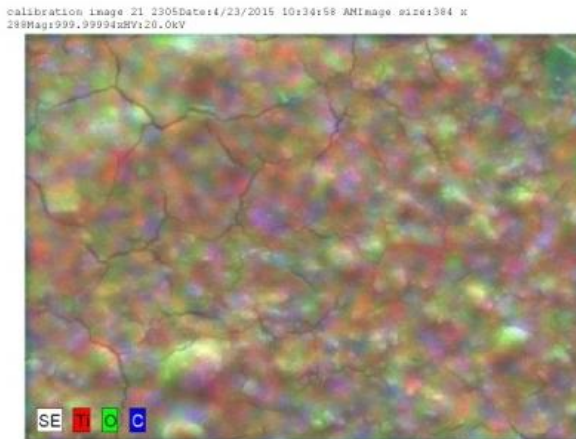


**Gambar 4.8** Distribusi pasta TiO<sub>2</sub> tanpa PEG pada kaca substrat.



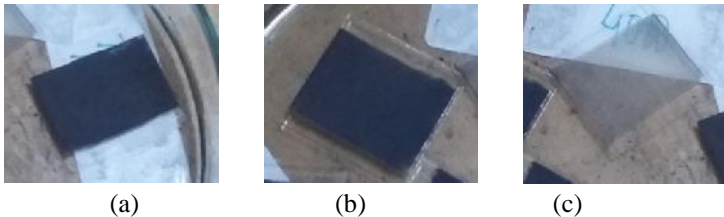


**Gambar 4.9** Distribusi pasta  $\text{TiO}_2$  dengan PEG 1000 terdeposisi pada kaca substrat.



**Gambar 4.10** Distribusi pasta  $\text{TiO}_2$  dengan PEG 4000 terdeposisi pada kaca substrat.

Hasil dari pendeposisian pasta  $\text{TiO}_2$  tersebut kemudian direndam pada larutan dye dan menghasilkan elektroda aktif seperti terlihat pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Hasil perendaman dye pada pasta TiO<sub>2</sub> (a) Tanpa PEG (b) Dengan PEG 1000 (b) Dengan PEG 4000

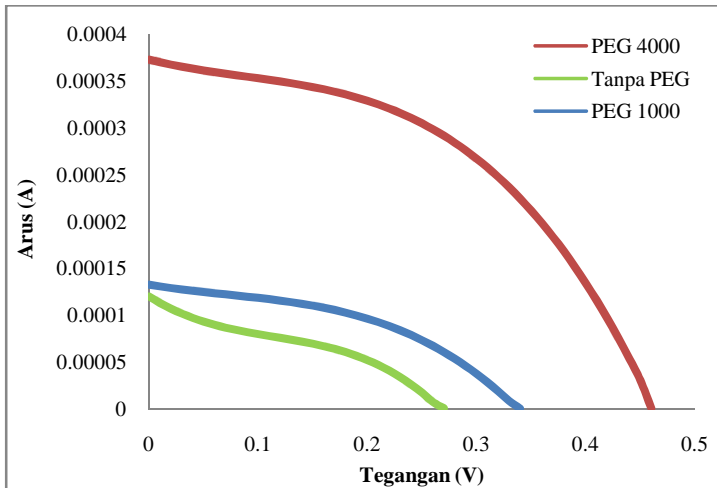
#### 4.1.4 Hasil $V_{oc}$ , $J_{sc}$ , $P_{max}$ , $Fill\ Factor$ dan efisiensi pada DSSC dengan variasi penggunaan PEG

Dari tiga jenis pasta TiO<sub>2</sub> yang digunakan pada penelitian ini yaitu pasta TiO<sub>2</sub> tanpa PEG, pasta TiO<sub>2</sub> dengan PEG 1000, dan pasta TiO<sub>2</sub> dengan PEG 4000 dihasilkan efisiensi tertinggi pada DSSC yang menggunakan pasta TiO<sub>2</sub> dengan PEG 4000 yaitu sebesar 0.04%. Data tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Untuk mengetahui kinerja dari semua jenis sampel DSSC yang telah dibuat, dilakukan karakterisasi arus dan tegangan dengan menggunakan Keithley I-V meter (2602A *system sourcemeter*). Data luaran dari I-V meter merupakan nilai arus dan tegangan. Perlakuan yang diberikan adalah memberikan tegangan input hingga 10 Volt dengan skala 0,5 Volt pada kondisi disinari lampu Xenon dengan intensitas 984.3 W/m<sup>2</sup>.

**Tabel 4.1** Hasil  $V_{oc}$ ,  $J_{sc}$ ,  $P_{max}$ ,  $P_{max}$ ,  $Fill\ Factor$  dan efisiensi pada DSSC dengan variasi penggunaan PEG

Nama Sel	$V_{oc}$ (Volt)	$I_{sc}$ (A)	$J_{sc}$ (A/m <sup>2</sup> )	$P_{max}$ (Watt)	$FF$ (%)	$Ef$ (%)
Peg 4000	0.4624	0.0003	2.0730	0.4748	0.5065	0.0474
Peg 1000	0.3375	0.0002	0.7370	0.1260	0.4952	0.0126
Tanpa Peg	0.2663	0.0001	0.6660	0.0615	0.3475	0.0061



**Gambar 4.12** Karakterisasi Arus dan Tegangan pada DSSC dengan variasi tanpa PEG, PEG 1000, dan PEG 4000.

Gambar 4.12 merupakan hasil plot data yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan Keithley I-V meter (2602A *system sourcemeter*). Data yang diperoleh berupa data arus dan tegangan dengan 4 kuadran. Digunakan data yang ada pada kuadran 4 sebagai data karakterisasi arus dan tegangan pada DSSC. Dari grafik tersebut terlihat bahwa DSSC dengan PEG 4000 pada pembuatan  $\text{TiO}_2$  menghasilkan arus dan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan PEG 1000 dan tanpa PEG.

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Analisa Sintesis $\text{TiO}_2$

Sintesis  $\text{TiO}_2$  dilakukan dengan metode kopresipitasi, endapan yang terbentuk dikalsinasi pada temperatur  $400^\circ\text{C}$  untuk meningkatkan pertumbuhan butir atau *grain grow*. Identifikasi fase dan ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  dengan melakukan uji XRD (*X-Ray Diffractometer*). Prinsip kerja XRD adalah

mengidentifikasi hasil pola difraksi kristal yang ditimbulkan oleh interaksi partikel dalam sampel dengan sinar-X. Data hasil uji XRD, diidentifikasi dengan menggunakan *software Match!* untuk mengetahui fase yang terbentuk. Dari hasil pola difraksi yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 diketahui bahwa  $\text{TiO}_2$  berfase anatase. Fase Anatase dibutuhkan dalam pembuatan DSSC karena  $\text{TiO}_2$  dalam fase ini memiliki kemampuan fotoaktif yang tinggi. Fotoaktif merupakan kemampuan  $\text{TiO}_2$  dalam menyerap cahaya. Hal ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Halme pada tahun 2002, bahwa  $\text{TiO}_2$  dengan fase anatase dipilih karena memberikan arus foton yang besar dibandingkan dengan fase Rutile (Halme, 2002).

Sedangkan untuk mengetahui ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  maka digunakan *software MAUD (Materials Analysis Using Diffraction)*. Hasil pengolahan data dengan MAUD diperoleh ukuran partikel yang digunakan pada penelitian ini sebesar 15,1 nm. Dari penelitian yang dilakukan oleh Kethinni (2014) diketahui bahwa ukuran  $\text{TiO}_2$  yang baik digunakan pada pengaplikasian DSSC adalah kurang dari 30 nm ( $< 30\text{nm}$ ) sehingga ukuran Kristal  $\text{TiO}_2$  dari hasil sintesis pada penelitian ini sudah memenuhi kriteria untuk diaplikasikan pada DSSC. Ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  juga berpengaruh pada kinerja DSSC. Semakin kecil ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  yang digunakan maka semakin luas area permukaannya sehingga dapat menampung dye lebih banyak. Semakin banyak dye yang terserap pada  $\text{TiO}_2$  akan meningkatkan jumlah arus yang mengalir dalam rangkaian DSSC. Selain itu, penggunaan  $\text{TiO}_2$  dalam orde nano akan membentuk struktur nanopori disepanjang luasan yang terdeposisi pada substrat sehingga akan menambah luasan semikonduktor tersebut dan memberikan dampak positif pada peningkatan jumlah cahaya yang terabsorpsi sehingga mampu menampung banyak dye (Zang H, 2000).

#### **4.2.2 Analisa Uji Absorbansi Larutan Dye N-749**

Dye sintesis yang digunakan sebagai sensitizer pada penelitian ini adalah dye sintesis N-749. Dye Sintesis terbuat dari bahan Ruthenium kompleks mengandung gugus karboksil. Gugus-gugus tersebut berfungsi untuk menempelkan diri pada permukaan semikonduktor oksida (Silviyanti, 2013).

Walaupun memiliki rentang panjang gelombang yang hampir mendekati rentang panjang gelombang cahaya tampak yaitu 400 - 700nm (Wilson, J and Hawkes, 1997) namun dye N-749 yang digunakan pada penelitian ini belum maksimum dalam menyerap pada rentang panjang gelombang cahaya tampak. Dye sensitizer yang baik mampu menyerap cahaya dengan maksimal pada rentang panjang gelombang yang lebar terutama di daerah panjang gelombang cahaya tampak. Semakin tinggi nilai absorbansi maka semakin mudah larutan dye dalam menyerap radiasi energi yang berupa foton-foton cahaya. Sehingga semakin banyak pula foton yang bisa dieksitasi untuk dikonversikan oleh DSSC menjadi energi listrik.

#### **4.2.3 Hasil uji SEM-EDX permukaan $\text{TiO}_2$ yang telah dideposisi pada kaca substrat**

Proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  pada penelitian ini dibedakan menjadi tiga yaitu pasta  $\text{TiO}_2$  yang dibuat tanpa menggunakan PEG, pasta  $\text{TiO}_2$  yang dibuat dengan menambahkan PEG 1000, dan pasta  $\text{TiO}_2$  yang dibuat dengan menambahkan PEG 4000. Setelah ketiganya dideposisi pada substrat kaca ITO, kemudian dapat diketahui karakteristik morfologi permukaan ketiganya serta dilakukan identifikasi zat-zat yang terkandung di dalamnya dengan menggunakan (*Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-Ray*).

Variasi penggunaan PEG dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan PEG serta pengaruh

dari berat molekul PEG terhadap efisiensi DSSC. PEG digunakan sebagai campuran pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ . Ketika PEG melekat pada molekul lain yang dalam penelitian ini adalah  $\text{TiO}_2$  maka PEG akan membuat molekul  $\text{TiO}_2$  terdistribusi secara merata. Sehingga pada saat proses pendeposisian pada substrat kaca ITO, pasta  $\text{TiO}_2$  yang terbentuk akan terdeposisi secara merata membentuk suatu lapisan tipis yang nantinya akan meningkatkan kinerja DSSC. Dengan adanya pemerataan pasta  $\text{TiO}_2$  yang terdeposisi, maka akan membentuk pori yang berasal dari kumpulan partikel  $\text{TiO}_2$ .

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa material semikonduktor yang digunakan pada penelitian ini adalah  $\text{TiO}_2$  sementara pada proses pendeposisiannya pasta  $\text{TiO}_2$  dibuat dengan menambahkan beberapa material diantaranya PEG sehingga dilakukan pemanasan dengan suhu tertentu untuk menghilangkan material-material tersebut. Hal ini ditandai dengan menghitamnya lapisan terdeposisi seperti terlihat pada Gambar 3.7. Proses ini menunjukkan adanya proses pembakaran campuran pasta  $\text{TiO}_2$  dan akhirnya menguap pada suhu  $450^\circ\text{C}$  sehingga hanya menyisakan lapisan  $\text{TiO}_2$  pada substrat kaca ITO (Wahyudi, 2011).

Guna mengetahui morfologi dari  $\text{TiO}_2$  yang telah terdeposisi dan kandungan dari material yang menempel pada kaca substrat maka dilakukan analisa menggunakan SEM-EDX dengan hasil seperti terlihat pada Gambar 4.5 hingga Gambar 4.10 dimana terlihat bahwa morfologi permukaan  $\text{TiO}_2$  terdeposisi pada kaca substrat menunjukkan adanya retakan pada hasil uji SEM-EDX. Namun, tampilan retakan pada morfologi tersebut berbeda-beda untuk tiga variasi pasta yang digunakan pada penelitian ini. Adanya retakan dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adanya proses pemuatan kaca yang tidak diikuti oleh muai bahan terdeposisi. Sedangkan untuk material yang menempel pada kaca substrat

disominasi oleh  $\text{TiO}_2$  namun masih terdapat material lain walaupun dengan prosentase sangat kecil.

Hasil dari uji SEM-EDX pada pasta  $\text{TiO}_2$  tanpa PEG (Gambar 4.5) terlihat bahwa distribusi pasta  $\text{TiO}_2$  tidak merata. Muncul adanya gumpalan-gumpalan di beberapa bagian sehingga mempengaruhi ketebalan dari  $\text{TiO}_2$  terdeposisi kaca substrat. Pada beberapa penelitian hal ini dapat menghambat jalannya elektron dari dye menuju kaca konduktif sehingga mempengaruhi kinerja DSSC. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Kalyanasumdaram dan Gratzel pada tahun 1998 bahwa ketebalan lapisan  $\text{TiO}_2$  berpengaruh terhadap foton yang dapat diserap oleh dye dan banyaknya dye yang dapat teradsorpsi (Kalyanasumdaram, 1998). Untuk mengetahui distribusi partikel yang terdeposisi pada kaca substrat dapat dilihat pada Gambar 4.8 dimana warna merah menunjukkan distribusi Ti dan warna hijau menunjukkan distribusi O.

Pada Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa jika dibandingkan dengan pasta  $\text{TiO}_2$  tanpa PEG, distribusi  $\text{TiO}_2$  pada pasta  $\text{TiO}_2$  yang dibuat dengan menambahkan PEG 1000 tampak lebih merata. Dengan adanya pemerataan distribusi  $\text{TiO}_2$  maka transportasi elektron dari dye menuju  $\text{TiO}_2$  untuk kemudian diteruskan menuju substrat kaca konduktif dapat berjalan dengan baik sehingga DSSC yang dibuat dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi. Selain itu, adanya pemerataan distribusi  $\text{TiO}_2$ , menimbulkan adanya pori yang berasal dari celah kumpulan  $\text{TiO}_2$ . Mengingat bahwa adanya porus dapat memaksimalkan dye yang terserap pada lapisan  $\text{TiO}_2$ . Dengan semakin banyaknya dye yang terserap maka fungsi dye sebagai donor elektron ketika adanya proses pencahayaan akan bekerja maksimum. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Huang et al pada 2006 bahwa jika porus semakin banyak maka dye yang terserap semakin banyak dan elektron semakin banyak pula. Dengan struktur lapisan  $\text{TiO}_2$  yang padat maka dye akan terserap di

permukaan terlebih dahulu dan akan menghalangi masuknya dye jauh ke dalam porus  $\text{TiO}_2$  (Huang et al, 2006). Untuk mengetahui distribusi partikel yang terdeposisi pada kaca substrat dapat dilihat pada Gambar 4.9 dimana warna merah menunjukkan distribusi Ti dan warna hijau menunjukkan distribusi O. Masih ada material lain yang menempel pada kaca substrat walaupun dengan prosentase kurang dari 1% namun akan berpengaruh terhadap kinerja DSSC. Hal ini disebabkan adanya proses penguapan yang kurang sempurna.

Pada penelitian ini PEG digunakan sebagai binder pada pasta  $\text{TiO}_2$  memberi pengaruh pada proses pendeposisian. PEG mampu mendistribusikan  $\text{TiO}_2$  secara merata terlihat pada Gambar 4.7. Dibandingkan dengan dua jenis pasta sebelumnya, pasta yang dibuat dengan menambahkan PEG 4000 lebih menghasilkan lapisan  $\text{TiO}_2$  yang halus dan merata. Sehingga ketebalan pada lapisan  $\text{TiO}_2$  lebih merata. Disamping itu adanya nanopori yang terbentuk dari kumpulan partikel  $\text{TiO}_2$  di permukaan kaca substrat semakin mendukung adanya dye yang nantinya akan terserap pada lapisan tersebut. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Huang et al pada 2006 bahwa jika porus semakin besar maka dye yang terserap semakin banyak dan elektron semakin banyak pula. Dengan struktur lapisan  $\text{TiO}_2$  yang padat maka dye akan terserap di permukaan terlebih dahulu dan akan menghalangi masuknya dye jauh ke dalam porus  $\text{TiO}_2$  (Huang et al, 2006). Untuk mengetahui distribusi partikel yang terdeposisi pada kaca substrat dapat dilihat pada Gambar 4.10 dimana warna merah menunjukkan distribusi Ti dan warna hijau menunjukkan distribusi O. Masih ada material lain yang menempel pada kaca substrat walaupun dengan prosentase kurang dari 1% namun akan berpengaruh terhadap kinerja DSSC. Hal ini disebabkan adanya proses penguapan yang kurang sempurna.

Secara keseluruhan, hasil dari SEM-EDX menunjukkan bahwa dari ketiga sampel yang dibuat dengan variasi



penambahan PEG pada pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  terlihat bahwa morfologi permukaan pada pasta  $\text{TiO}_2$  yang dibuat dengan menambahkan PEG 4000 lebih halus dari dua sampel yang lain. Penambahan bahan polymer sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Bingbing Hu (2014) yaitu penggunaan bahan polymer sebagai sarana pembentuk porus pada  $\text{TiO}_2$ . Bahan polymer yang digunakan pada penelitian ini adalah PEG. Dengan adanya penambahan PEG yang bertindak sebagai binder, maka distribusi  $\text{TiO}_2$  yang terdeposisi pada kaca substrat lebih merata sehingga membentuk nanopori yang teratur sebagai tempat melekatnya dye. Sedangkan tanpa adanya PEG sebagai bahan tambahan dalam pembuatan pasta masih terlihat adanya gumpalan  $\text{TiO}_2$  di beberapa bagian yang menunjukkan bahwa  $\text{TiO}_2$  yang terdeposisi pada kaca substrat tidak merata, hal ini tentu dapat mempengaruhi kinerja DSSC.

Pada penelitian ini digunakan 2 jenis PEG yaitu PEG 1000 dan PEG 4000. Keduanya memiliki perbedaan yang tentunya mempengaruhi hasil pasta  $\text{TiO}_2$  yang terbentuk. PEG 1000 berbentuk semi padat dengan *melting point* berada pada titik  $37\text{-}40^\circ\text{C}$  sedangkan PEG 4000 berupa padatan semi kristalin dengan *melting point*  $50\text{ - }58^\circ\text{C}$ . Penamaan jenis PEG didasarkan pada berat molekulnya seperti terlihat pada Tabel 2.1 dimana diketahui bahwa berat molekul PEG juga sebanding dengan jumlah gugus *oxyethylene* yang ada pada struktur PEG sehingga semakin besar berat molekul PEG maka semakin panjang gugus *oxyethylene* yang dimiliki oleh PEG tersebut (Raymond C Rowe, 2009). Jumlah gugus *oxyethylene* tersebut mempengaruhi kinerja PEG dalam berperan sebagai binder pada proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ . Seperti terlihat pada Gambar 4.6 dan 4.7 dimana kedua pasta terdeposisi tersebut dibuat dengan penambahan PEG. Permukaan yang lebih halus ini menunjukkan adanya keberadaan pori yang berdekatan sehingga  $\text{TiO}_2$  mampu bekerja dengan baik pada proses transfer elektron dan menghasilkan efisiensi yang lebih besar. Morfologi

permukaan pasta  $\text{TiO}_2$  yang dibuat dengan penambahan PEG 4000 lebih halus dibandingkan PEG 1000 hal ini menunjukkan bahwa PEG 4000 lebih baik dalam pendistribusian  $\text{TiO}_2$  sehingga terlihat merata dan dapat menghasilkan pori yang berdekatan sehingga  $\text{TiO}_2$  mampu bekerja dengan baik pada proses transfer elektron dan menghasilkan efisiensi yang lebih besar.

Selain untuk distribusi partikel  $\text{TiO}_2$  pada saat diseposisi pada substrat kaca ITO, fungsi dari penambahan PEG pada penelitian ini adalah untuk memperkuat ikatan antara  $\text{TiO}_2$  dengan kaca substrat sehingga mampu menjadi media transport elektron pada proses konversi energi cahaya menjadi listrik. Karena ketika ikatan antara  $\text{TiO}_2$  dan kaca ITO tidak cukup kuat maka akan banyak  $\text{TiO}_2$  yang hilang ketika proses pemanasan maupun pendeposisian sehingga mempengaruhi kinerja  $\text{TiO}_2$ .

#### **4.2.4 Karakterisasi Arus dan Tegangan pada DSSC**

Dari keseluruhan hasil karakterisasi arus dan tegangan yang diperoleh, diketahui bahwa ketika DSSC diiluminasi cahaya, nanopartikel  $\text{TiO}_2$  yang telah dibuat, mampu menghasilkan respon arus dan tegangan yang cukup baik. Tegangan yang dihasilkan pada DSSC ini dipengaruhi oleh kondisi dari bahan yang tersusun pada DSSC, yaitu semikonduktor dan elektrolit yang digunakan. Secara teori, tegangan timbul akibat adanya perbedaan atau selisih antara tingkat energi fermi dari semikonduktor dan energi potensial redoks dari elektrolit (Gratzel, 1991).

Arus yang dihasilkan pada DSSC ini dipengaruhi oleh jumlah dan aktifitas elektron yang berada dalam sel. Semakin banyak elektron maka semakin besar arus yang dihasilkan. Pada penelitian ini digunakan variasi pada pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  yang mempengaruhi distribusi  $\text{TiO}_2$  pada substrat kaca ITO. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Bingbing Hu (2014) yaitu dengan cara

menggunakan bahan polymer sebagai sarana pembentuk porus pada  $\text{TiO}_2$ . Pada penelitian ini struktur nanopori yang terbentuk dari susunan DSSC yang menggunakan PEG 4000 mampu menghasilkan arus yang lebih besar dibandingkan dengan 2 variasi DSSC yang lain. Adanya struktur nanopori yang terbentuk dari susunan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  akan menyebabkan semakin banyak dye yang terserap. Sehingga semakin banyak pula foton yang dapat diserap dan dapat menghasilkan elektron yang semakin banyak. Jika elektron semakin banyak, maka arus yang dihasilkan semakin besar.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dihasilkan prototipe DSSC yang dapat mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik dengan variasi penambahan PEG pada pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$ .
2. Adanya penambahan PEG pada proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  menunjukkan adanya peningkatan efisiensi yaitu dari 0.0615% untuk yang tanpa PEG menjadi 0.4952% untuk PEG 1000, dan 0.5065% untuk PEG 4000.
3. Adanya perbedaan berat molekul PEG yang digunakan pada proses pembuatan pasta  $\text{TiO}_2$  berpengaruh terhadap pemerataan  $\text{TiO}_2$  dan juga pembentukan porus pada substrat kaca ITO sehingga semakin tinggi berat molekul PEG maka semakin baik efisiensi yang dihasilkan.

#### **5.2 Saran**

Adapun beberapa saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk penggunaan PEG dengan berat molekul yang lebih besar sehingga dapat dianalisis mana yang menghasilkan efisiensi lebih besar.
2. Untuk penelitian berikutnya disarankan menggunakan sumber cahaya dengan rentang panjang gelombang lebih besar atau sesuai dengan absorbansi dye sehingga mampu menghasilkan arus yang lebih besar.

***”Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## DAFTAR PUSTAKA

- Bang S.Y et al. 2012. "Evaluation Of Dye Aggregation And Effect Of Deoxycholic Acid Concentration On Photovoltaic Performance Of N749-Sensitized Solar Cell". Solar Cell Center, Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul, South Korea.
- Bingbing Hu et al. 2014. *Mesoporous TiO<sub>2</sub> anodes for efficient dye-sensitized solar cells: An efficiency of 9.86% under one sun illumination*. Journal of Power Sources 267(2014) 445-451.
- Brian, Yuliarto. Energi Surya : Alternatif Sumber Eergi Masa Depan Indonesia. Berita Iptek, 16 Februari. 2006.
- C. Suryanarayana, M.G. Norton, *X-Ray Diffraction: A Practical Approach*, Plenum Press, New York. 1998, 207.
- Eun Hee Jo et al. 2014. "*Pore size-controlled synthesis of PEG-derived porous TiO<sub>2</sub> particles and photovoltaic performance of dye-sensitized solar cells*". Materials letters 131 (2014) 244-247.
- Gleue, Alan. 2008. *Building The Gratzel Solar Cell*. The Gratzel Solar Cell Project Summer NSF, 9-16.
- Green,Martin.A. 1982, "*Solar Cells Operating Principles Technology and System Application*", Prentice Hall,Inc, Evylewood Cliffs.
- Halme, Janne. 2002. "Dye-Sensitized Nanostructured and Organic Photovoltaic Cells: Technical review and Preliminary Test", Master's thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Technology, Helsinki University Of Technology.
- Handini, Wulandari. 2008. "Performa Sel Surya Tersensitasi Zat Pewarna (DSSC) Berbasis ZnO Dengan Variasi Tingkat Pengisian dan Besar Kristalit TiO 2 ". FT UI.
- Huang, C.-Y., Hsu, Y.-C., Chen, J.-G., Suryanarayanan, V., Lee, K.-M., Ho, K.-C. 2006. *The effects of hydrothermal*

- temperature and thickness of TiO<sub>2</sub> film on the performance of adye-sensitized solar cell, Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90, 2391–2397.
- H. Zhang, J.F. Banfield. 2000, “Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates: Insights from TiO<sub>2</sub> “, *J Phys Chem B*, vol. 104, pp. 3481.
- Kalyanasundaram, K., Grätzel, M. 1998, *Applications of functionalized transition metal complexes inphotonic and optoelectronic devices*, *Coordination Chemistry Reviews*, 177, 347-414.
- Kethinni G. Chittibabu. (2014), “Titanium Oxide Nano Colloids for Dye Sensitized Solar Cells and other Applications”A whitepaper for G24 Power Limited.
- Kook, Lee Jin, Jeong Bo-Hwa, Jang Sung-il, Kim Young-Guen, Jang Yong-Wook, Lee Su-Bin, Kim Mi-Ra. 2009. *Preparations of TiO<sub>2</sub> pastes and its application to light-scattering layer for dye-sensitized solar cells*. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 15 724-729.
- Leuner, C. and Dressman, J. 2000. Improving drug solubility for oral delivery using solid dispersion, *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 50, 47-60.
- Li B, dkk. 2006. *Review of Recent Progress in Solid-State Dye Sensitized Solar Cells Sol. Energy Mater, Sol. Cells*. 90:549-573.
- Li, X.D., D. W.Zhang, S.Chen, Z. A. Wang, Z.Sun, X.J.Yin, S. M.Huang, 2010, *Enhanching efficiency of dye sensitized solar cells by combining use of TiO<sub>2</sub> nanotube and nanopartocles*. *Material Chemistry and Physics*, **124**(1):p. 179-183.
- Longo C, Paoli MA De. (2003), “Dye-sensitized solar cells: a successful combination of materials”, *J Braz Chem Soc*, 14(6), 889-901.

- Maddu, A., Zyhri, M., Irmasyah. 2010. "Penggunaan Ekstrak Antosianin Kol Merah Sebagai Fotosensitizer pada Sel Surya  $\text{TiO}_2$  Nanokristal Tersensitisasi Dye", MST 11.
- Misbachudin, Moch. Choirul. 2014. "Pengaruh pH Larutan Antosianin Strawberry dalam Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)". Universitas Kristen Satya Wacana. Salatiga.
- Nguyen-Phan, T.-D. and E.W. Shin. 2011. *Morphological effect of  $\text{TiO}_2$  catalysts on photocatalytic degradation of methylene blue*. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. **17**(3):P. 397-400.
- O'Regan & Gratzel, M. 1991. "A low-cost, high efficiency solar cell based on DS Colloidal  $\text{TiO}_2$  films". Nature Vol. 353. Issue 6346, 737.
- Puspitasari, Nurrisma. 2012. "Studi Awal Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell (DSSC) Menggunakan Ekstraksi Rosela (*Hibiscus Sabdariffa*) sebagai Dye Sensitizer dengan Variasi Luas Permukaan Lapisan  $\text{TiO}_2$ ". ITS. Surabaya
- Raymond C Rowe. 2009. *Handbook of Pharmaceutical Excipients sixth edition*. The Pharmaceutical Press: Britain
- R. Sastrawan, 2006, "Photovoltaic modules of dye solar cells", Disertasi University of Freiburg
- Seo, Y dan Kim, J.H, (2012). "Rapid Dye Adsorption For Dye-Sensitized Solar Cells Using A Simple Ultrasonication Method". Department of Chemical Engineering, University of Seoul, Republic of Korea. Journal of Industrial and Engineering Chemistry 19 (2013) 488–492.
- Silviyanti, N.A. 2013. "Analisis Perbandingan Efisiensi Pada Pembuatan Prototipe Dye Sensitized Solar Cell Berbasis  $\text{TiO}_2$ , ZnO dan MgO Single Layer dan Double Layer. ITS. Surabaya.



- Smestad GP & Grätzel M. 1998. *Demonstrating Electron and Nanotechnology*. J. Chem.Educ. 75 (6):1-6.
- Sze, S.M. (1985), “ Semiconductor Devices Physics and Technology Second Edition”, John Wiley & Sons, Inc. United States of America, hal 318 – 328.
- Wahyudi, Bayu. 2011. “Deposisi Nanopartikel Titanium Dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) di atas Gelas Transparan Konduktif dan Aplikasinya sebagai Elektroda Kerja pada Sel Surya Berbasis Dye (DSSC)”. Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Wei Tu. Chi, dkk. 2008. Performance of Gelled-Type *Dye-Sensitized Solar Cells associated with Glass Transition temperature of The Gelatinizing Polymers*, Taipei, Taiwan. European Polymer Journal 44 608-614. ELSEVIER.
- Wibowo, Eri P. 1999, “ Dasar Fisika Energi “, Jakarta, DP2M Dikti Research Institute.
- Won, J.L, et al. 2008. “Electrochemical approach to enhance the open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ) of dye-sensitized solar cells (DSSCs)”. Konkuk University, Seoul, Republic of Korea.
- Wilson, J and Hawkes, 1997. *Optoelectronics (Second Edition)*. United Kingdom: Prentice Hall International.
- Zhang,H dan Banfield,J.F.(2000). “Understanding Polymorphic Phase Transformation Behavior during Growth of Nanocrystalline Aggregates: Insights from  $\text{TiO}_2$ ”. JPhys Chem B, vol. 104, pp. 3481.

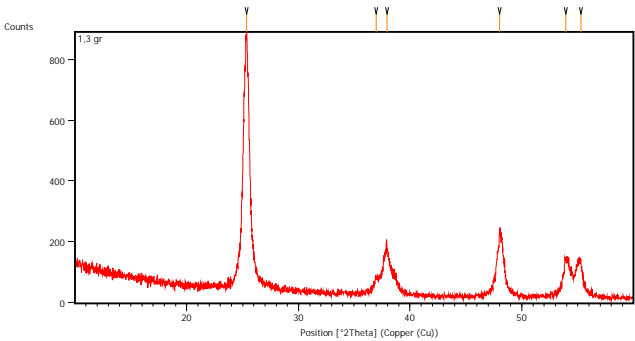
## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Hasil Uji Difraksi Sinar X TiO 2 Nano

#### *Measurement Conditions:*

Dataset Name	1,3 gr
File name	E:\DATA
PENGUJIAN\Pengujian tahun 2015\Maret\Putri\1,3 gr\1,3 gr.rd	
Measurement Date / Time	3/20/2015 10:32:00 AM
Raw Data Origin	PHILIPS-binary (scan) (.RD)
Scan Axis	Gonio
Start Position [ $^{\circ}$ 2Th.]	10.0084
End Position [ $^{\circ}$ 2Th.]	59.9884
Step Size [ $^{\circ}$ 2Th.]	0.0170
Scan Step Time [s]	10.1500
Scan Type	Continuous
Offset [ $^{\circ}$ 2Th.]	0.0000
Divergence Slit Type	Fixed
Divergence Slit Size [ $^{\circ}$ ]	0.2500
Specimen Length [mm]	10.00
Receiving Slit Size [mm]	12.7500
Measurement Temperature [ $^{\circ}$ C]	-273.15
Anode Material	Cu
K-Alpha1 [ $\text{\AA}$ ]	1.54060
K-Alpha2 [ $\text{\AA}$ ]	1.54443
K-Beta [ $\text{\AA}$ ]	1.39225
K-A2 / K-A1 Ratio	0.50000
Generator Settings	30 mA, 40 kV
Diffractionmeter Type	XPert MPD
Diffractionmeter Number	1
Goniometer Radius [mm]	200.00
Dist. Focus-Diverg. Slit [mm]	91.00
Incident Beam Monochromator	No
Spinning	No

*Main Graphics, Analyze View:*

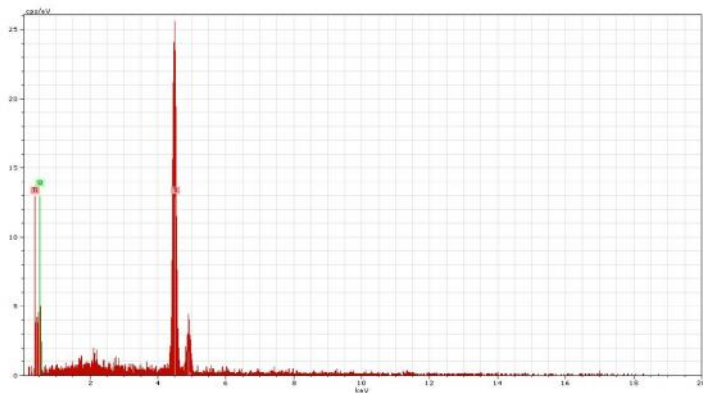


*Peak List:*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.3406	813.82	0.1673	3.51480	100.00
36.9855	50.63	0.2676	2.43057	6.22
37.9437	154.82	0.4684	2.37136	19.02
48.0320	210.12	0.1004	1.89423	25.82
53.9462	120.66	0.4684	1.69970	14.83
55.2884	104.41	0.4684	1.66157	12.83

## Lampiran 2. Hasil Uji SEM-EDX

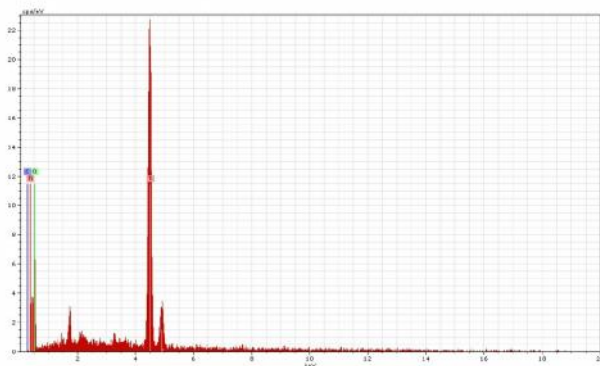
### a. Tanpa PEG



Spectrum: Acquisition 2214

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
O	8	K-series	45.76	42.17	68.57	76.0
Ti	22	K-series	62.77	57.83	31.43	2.0
Total:			108.53	100.00	100.00	

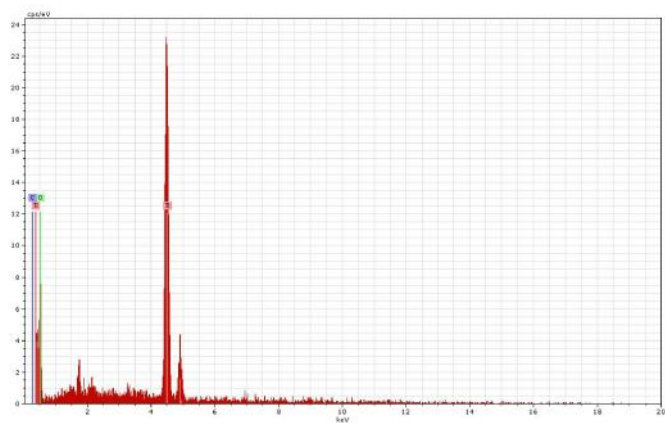
### b. PEG 1000



Spectrum: Acquisition 2216

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.02	0.02	0.03	0.1
O	8	K-series	43.37	44.90	70.82	71.6
Ti	22	K-series	53.41	55.18	29.14	1.7
Total:			96.79	100.00	100.00	

## c. PEG 4000



Spectrum: Acquisition 2215

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
C	6	K-series	0.04	0.04	0.08	0.1
O	8	K-series	45.53	47.63	73.09	75.2
Ti	22	K-series	50.01	52.33	26.83	1.6
Total:			95.58	100.00	100.00	

**Lampiran 3. Data Arus (A), Tegangan (V), dan Rapat Arus (A/m<sup>2</sup>) dari hasil Uji Keithley I-V meter**

**(a) Tanpa PEG**

Drain Voltage (Volt)	Drain Current (A)	Rapat Arus (A/m <sup>2</sup> )
-0.5002	-0.0013	-7.2492
-0.4851	-0.0012	-6.6114
-0.4701	-0.0011	-6.1848
-0.4551	-0.0010	-5.8003
-0.4401	-0.0010	-5.3657
-0.4251	-0.0009	-4.8918
-0.4101	-0.0008	-4.6093
-0.3951	-0.0008	-4.1745
-0.3801	-0.0007	-3.7578
-0.3651	-0.0006	-3.5150
-0.3501	-0.0006	-3.2582
-0.3351	-0.0005	-2.8785
-0.3201	-0.0005	-2.5049
-0.3051	-0.0004	-2.3264
-0.2901	-0.0004	-2.2172
-0.2750	-0.0003	-1.8859
-0.2601	-0.0003	-1.6266
-0.2450	-0.0003	-1.6164
-0.2300	-0.0003	-1.5440
-0.2150	-0.0002	-1.3372
-0.2000	-0.0002	-1.1021
-0.1850	-0.0002	-1.1337
-0.1700	-0.0002	-1.1648
-0.1550	-0.0002	-1.0005
-0.1400	-0.0002	-0.8517
-0.1250	-0.0002	-0.8776
-0.1100	-0.0002	-0.9351
-0.0949	-0.0001	-0.8070
-0.0800	-0.0001	-0.6857
-0.0650	-0.0001	-0.7880
-0.0499	-0.0001	-0.7274
-0.0350	-0.0001	-0.6048
-0.0200	-0.0001	-0.6253

-0.0049	-0.0001	-0.6953
0.0100	-0.0001	-0.6215
0.0251	-0.0001	-0.5255
0.0401	-0.0001	-0.5244
0.0550	-0.0001	-0.5746
0.0701	-0.0001	-0.5542
0.0851	-0.0001	-0.4226
0.1001	-0.0001	-0.4135
0.1151	-0.0001	-0.4579
0.1301	-0.0001	-0.4533
0.1450	-0.0001	-0.3066
0.1601	-0.0001	-0.3255
0.1751	-0.0001	-0.3518
0.1901	-0.0001	-0.3011
0.2051	-0.0001	-0.2896
0.2201	0.0000	-0.2385
0.2351	0.0000	-0.1303
0.2501	0.0000	-0.2200
0.2651	0.0000	0.0073
0.2801	0.0000	0.1448
0.2951	0.0000	0.2536
0.3101	0.0001	0.3810
0.3251	0.0001	0.5797
0.3401	0.0001	0.8272
0.3551	0.0002	1.0015
0.3701	0.0002	1.2113
0.3851	0.0003	1.4804
0.4001	0.0003	1.8022
0.4151	0.0004	2.0965
0.4301	0.0004	2.3692
0.4451	0.0005	2.7157
0.4602	0.0006	3.0753
0.4752	0.0006	3.3939
0.4902	0.0007	3.7512
0.5052	0.0007	4.1425
0.5202	0.0008	4.5365
0.5352	0.0009	4.8972
0.5502	0.0010	5.2896

0.5652	0.0010	5.7200
0.5802	0.0011	6.1303
0.5952	0.0012	6.5261
0.6102	0.0013	6.9488
0.6252	0.0013	7.4046
0.6402	0.0014	7.8417
0.6552	0.0015	8.2623
0.6703	0.0016	8.7018
0.6852	0.0016	9.1664
0.7002	0.0017	9.6110
0.7152	0.0018	10.0460
0.7302	0.0019	10.5105
0.7452	0.0020	10.9836
0.7602	0.0021	11.4507
0.7752	0.0021	11.9023
0.7903	0.0022	12.3603
0.8052	0.0023	12.8347
0.8203	0.0024	13.3183
0.8352	0.0025	13.7872
0.8503	0.0026	14.2457
0.8653	0.0027	14.7261
0.8803	0.0027	15.2240
0.8953	0.0028	15.7024
0.9103	0.0029	16.1735
0.9253	0.0030	16.6563
0.9403	0.0031	17.1542
0.9553	0.0032	17.6358
0.9703	0.0033	18.1112
0.9853	0.0033	18.6055
1.0003	0.0034	19.1193

**(b) PEG 1000**

Drain Voltage (Volt)	Drain Current (A)	Rapat Arus (A/m <sup>2</sup> )
-0.50022	-0.00081	-4.50809
-0.48516	-0.00076	-4.20464
-0.47020	-0.00068	-3.79483
-0.45520	-0.00063	-3.48074
-0.44016	-0.00059	-3.28892



-0.42512	-0.00055	-3.07296
-0.41017	-0.00048	-2.69289
-0.39511	-0.00045	-2.50298
-0.38012	-0.00043	-2.39276
-0.36513	-0.00040	-2.20430
-0.35012	-0.00034	-1.89666
-0.33509	-0.00030	-1.68162
-0.32007	-0.00030	-1.64328
-0.30511	-0.00029	-1.61457
-0.29007	-0.00025	-1.38667
-0.27510	-0.00021	-1.17518
-0.26010	-0.00022	-1.24417
-0.24506	-0.00022	-1.24476
-0.23009	-0.00018	-0.99794
-0.21509	-0.00017	-0.95153
-0.20005	-0.00019	-1.06517
-0.18503	-0.00019	-1.06935
-0.17008	-0.00016	-0.91406
-0.15505	-0.00014	-0.79969
-0.13999	-0.00017	-0.92968
-0.12503	-0.00018	-0.99177
-0.11001	-0.00016	-0.89463
-0.09503	-0.00013	-0.73191
-0.08009	-0.00015	-0.83999
-0.06506	-0.00016	-0.91308
-0.05002	-0.00015	-0.81660
-0.03505	-0.00013	-0.70610
-0.02003	-0.00013	-0.69488
-0.00505	-0.00014	-0.77200
0.00997	-0.00015	-0.82631
0.02498	-0.00013	-0.73209
0.04000	-0.00011	-0.62030
0.05501	-0.00012	-0.69093
0.07000	-0.00014	-0.75583
0.08498	-0.00011	-0.59534
0.09997	-0.00011	-0.59569
0.11498	-0.00012	-0.68557
0.12998	-0.00012	-0.64590

0.14497	-0.00010	-0.55521
0.16000	-0.00010	-0.55406
0.17500	-0.00013	-0.72013
0.18998	-0.00010	-0.55717
0.20504	-0.00010	-0.57261
0.22002	-0.00008	-0.44435
0.23504	-0.00007	-0.39558
0.25005	-0.00008	-0.41980
0.26506	-0.00008	-0.42052
0.28005	-0.00005	-0.29460
0.29507	-0.00003	-0.16527
0.31007	-0.00003	-0.14584
0.32498	-0.00002	-0.10211
0.34005	0.00000	0.00886
0.35502	0.00003	0.19185
0.37002	0.00006	0.33496
0.38504	0.00008	0.42793
0.40005	0.00011	0.60252
0.41502	0.00015	0.84169
0.43005	0.00019	1.03314
0.44512	0.00021	1.18130
0.46014	0.00025	1.39268
0.47511	0.00030	1.66832
0.49012	0.00034	1.87706
0.50507	0.00037	2.06337
0.52009	0.00042	2.31348
0.53505	0.00047	2.60847
0.55011	0.00051	2.82587
0.56508	0.00055	3.04868
0.58007	0.00060	3.35065
0.59509	0.00065	3.62033
0.61010	0.00069	3.84388
0.62514	0.00074	4.11997
0.64007	0.00080	4.42026
0.65511	0.00084	4.67655
0.67015	0.00089	4.92291
0.68516	0.00094	5.20002
0.70015	0.00099	5.51199

0.71513	0.00104	5.80194
0.73010	0.00109	6.05679
0.74514	0.00114	6.32552
0.76011	0.00120	6.64171
0.77513	0.00125	6.93505
0.79015	0.00130	7.19566
0.80519	0.00135	7.48624
0.82017	0.00141	7.81273
0.83514	0.00146	8.09954
0.85015	0.00151	8.37026
0.86520	0.00156	8.66361
0.88025	0.00162	8.99131
0.89519	0.00167	9.27811
0.91021	0.00172	9.55995
0.92519	0.00177	9.86105
0.94014	0.00183	10.19310
0.95519	0.00189	10.49995
0.97017	0.00194	10.77961
0.98521	0.00200	11.09201
1.00016	0.00206	11.42069

**(c) PEG 4000**

Drain Voltage (Volt)	Drain Current (A)	Rapat Arus (A/m <sup>2</sup> )
-0.5001	-0.0009	-0.0009
-0.4851	-0.0008	-0.0008
-0.4702	-0.0008	-0.0008
-0.4552	-0.0007	-0.0007
-0.4401	-0.0007	-0.0007
-0.4251	-0.0006	-0.0006
-0.4101	-0.0006	-0.0006
-0.3951	-0.0006	-0.0006
-0.3801	-0.0005	-0.0005
-0.3650	-0.0005	-0.0005
-0.3501	-0.0005	-0.0005
-0.3351	-0.0005	-0.0005
-0.3200	-0.0004	-0.0004
-0.3051	-0.0004	-0.0004
-0.2901	-0.0004	-0.0004

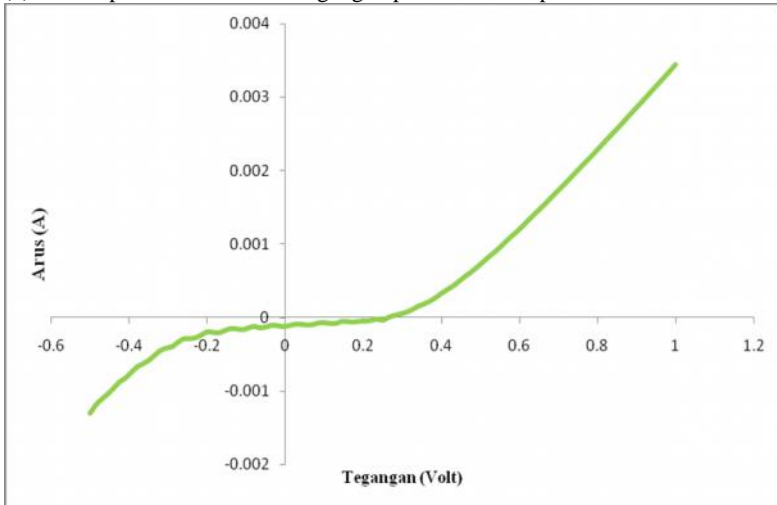
-0.2750	-0.0005	-0.0005
-0.2600	-0.0004	-0.0004
-0.2451	-0.0004	-0.0004
-0.2301	-0.0004	-0.0004
-0.2150	-0.0004	-0.0004
-0.2000	-0.0004	-0.0004
-0.1850	-0.0004	-0.0004
-0.1700	-0.0004	-0.0004
-0.1550	-0.0004	-0.0004
-0.1400	-0.0004	-0.0004
-0.1250	-0.0004	-0.0004
-0.1100	-0.0004	-0.0004
-0.0950	-0.0004	-0.0004
-0.0800	-0.0003	-0.0003
-0.0650	-0.0004	-0.0004
-0.0500	-0.0004	-0.0004
-0.0350	-0.0004	-0.0004
-0.0200	-0.0004	-0.0004
-0.0050	-0.0004	-0.0004
0.0100	-0.0004	-0.0004
0.0250	-0.0003	-0.0003
0.0400	-0.0004	-0.0004
0.0550	-0.0004	-0.0004
0.0700	-0.0004	-0.0004
0.0850	-0.0003	-0.0003
0.1000	-0.0003	-0.0003
0.1150	-0.0004	-0.0004
0.1300	-0.0004	-0.0004
0.1450	-0.0003	-0.0003
0.1600	-0.0003	-0.0003
0.1751	-0.0004	-0.0004
0.1900	-0.0004	-0.0004
0.2050	-0.0003	-0.0003
0.2200	-0.0003	-0.0003
0.2351	-0.0003	-0.0003
0.2501	-0.0003	-0.0003
0.2651	-0.0003	-0.0003
0.2801	-0.0003	-0.0003

0.2951	-0.0003	-0.0003
0.3101	-0.0003	-0.0003
0.3251	-0.0003	-0.0003
0.3401	-0.0002	-0.0002
0.3551	-0.0002	-0.0002
0.3701	-0.0002	-0.0002
0.3851	-0.0002	-0.0002
0.4001	-0.0001	-0.0001
0.4151	-0.0001	-0.0001
0.4301	-0.0001	-0.0001
0.4452	0.0000	0.0000
0.4602	0.0000	0.0000
0.4752	0.0000	0.0000
0.4902	0.0001	0.0001
0.5052	0.0001	0.0001
0.5201	0.0001	0.0001
0.5351	0.0002	0.0002
0.5501	0.0002	0.0002
0.5651	0.0003	0.0003
0.5801	0.0003	0.0003
0.5952	0.0004	0.0004
0.6101	0.0004	0.0004
0.6252	0.0004	0.0004
0.6402	0.0005	0.0005
0.6552	0.0005	0.0005
0.6702	0.0006	0.0006
0.6852	0.0006	0.0006
0.7002	0.0007	0.0007
0.7152	0.0007	0.0007
0.7302	0.0008	0.0008
0.7452	0.0008	0.0008
0.7602	0.0009	0.0009
0.7752	0.0009	0.0009
0.7902	0.0010	0.0010
0.8052	0.0010	0.0010
0.8202	0.0011	0.0011
0.8352	0.0011	0.0011
0.8502	0.0012	0.0012

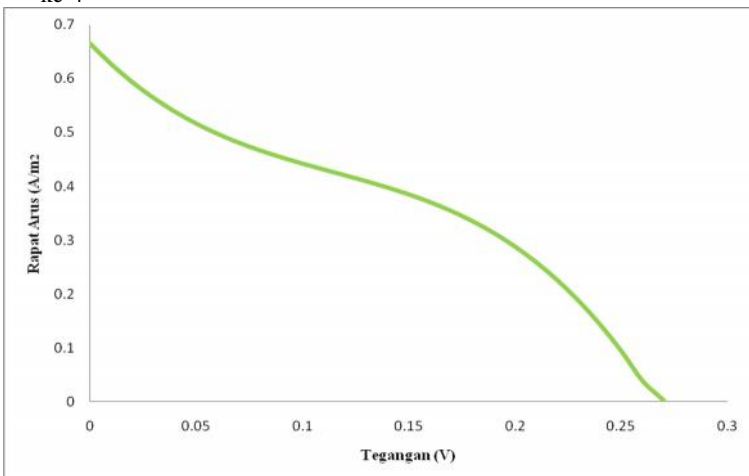
0.8652	0.0012	0.0012
0.8803	0.0013	0.0013
0.8953	0.0014	0.0014
0.9102	0.0014	0.0014
0.9253	0.0015	0.0015
0.9402	0.0015	0.0015
0.9552	0.0016	0.0016
0.9702	0.0016	0.0016
0.9852	0.0017	0.0017
1.0002	0.0017	0.0017

#### Lampiran 4. Hasil plot data Arus (A) dan Tegangan (V) dari hasil Uji Keithley I-V meter

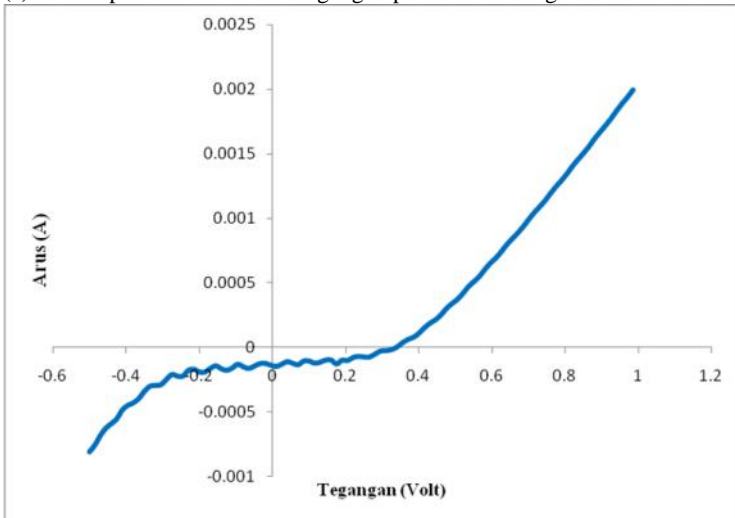
(a) Grafik plot data Arus dan Tegangan pada DSSC tanpa PEG



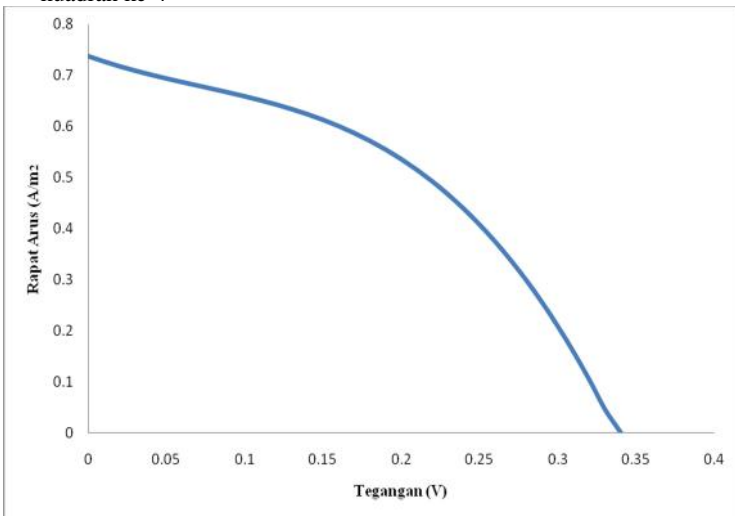
(b) Grafik plot data Arus dan Tegangan pada DSSC tanpa PEG pada kuadran ke-4



(c) Grafik plot data Arus dan Tegangan pada DSSC dengan PEG 1000

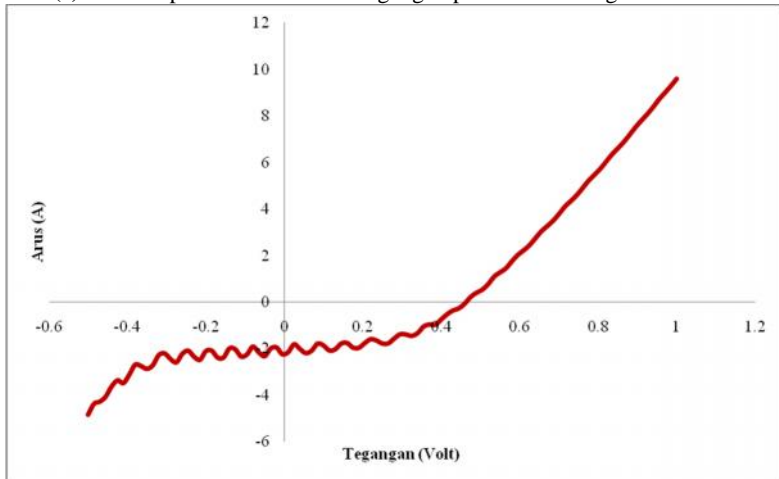


(d) Grafik plot data Arus dan Tegangan pada DSSC dengan PEG 1000 pada kuadran ke-4

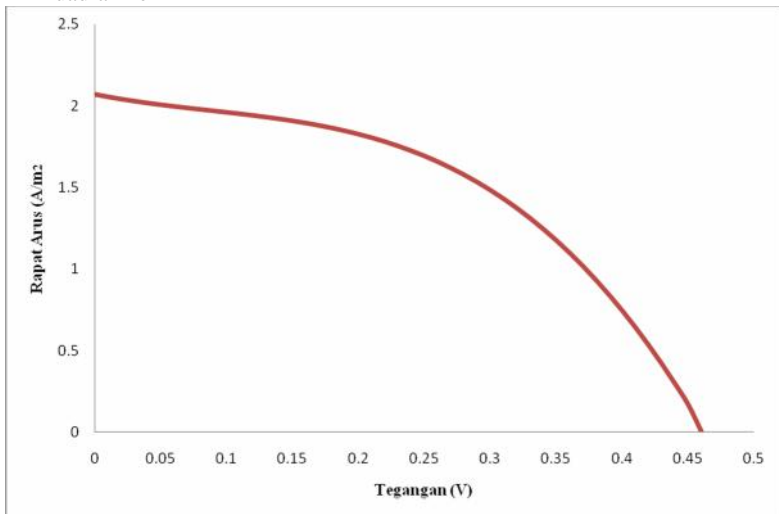




(e) Grfaik plot data Arus dan Tegangan pada DSSC dengan PEG 4000



(f) Grafik plot data Arus dan Tegangan pada DSSC dengan PEG 4000 pada kuadran ke-4



## **BIODATA PENULIS**



Friska Ayu Fitrianti Sugiono lahir di Probolinggo, 08 Maret 1992, anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Sugiono (47) dan Agustina Wahyu Rejeki (44). Penulis menempuh pendidikan formal di TK Kemala Bhayangkari 16 Probolinggo, SDN Sukabumi III Probolinggo(1999-2005), SMP Negeri 1 Probolinggo (2005-2008), SMA Negeri 1 Probolinggo (2008-2011). Kemudian Penulis diterima di Perguruan Tinggi Jurusan Fisika ITS lewat jalur SNMPTN Undangan. Penulis sempat aktif dalam kampus Himpunan Mahasiswa Fisika ITS (HIMASIKA ITS) menjabat sebagai bendahara Departemen Perekonomian. Selain itu Penulis juga pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Madya pada semester 5 hingga semester 8 dan menjadi asisten laboratorium Fisika Dasar pada semester 8. Untuk keterangan lebih jelas mengenai tugas akhir ini dapat menghubungi penulis melalui email : [friskaayuf@gmail.com](mailto:friskaayuf@gmail.com)